

GEOPOLÍTICA DEL ESPACIO EXTERIOR: DOMINIO ESTRATÉGICO DEL SIGLO XXI PARA LA SEGURIDAD Y DEFENSA*

Carlos Enrique Álvarez Calderón
Brigadier General Eliot Gerardo Benavides González
Coronel (RA) Yesid Eduardo Ramírez Pedraza

* Este capítulo hace parte del Proyecto de Investigación de la Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales, “Desafíos y Nuevos Escenarios de la Seguridad Multidimensional en el Contexto Nacional, Regional y Hemisférico en el Decenio 2015-2025”, el cual hace parte del grupo de investigación “Centro de Gravedad” de la Escuela Superior de Guerra General Rafael Reyes Prieto, reconocido y categorizado en (A1) por COLCIENCIAS, con el código COL0104976; así como del grupo de investigación “Ciencia y Poder Aéreo” (CIPAER), categorizado en (B) por COLCIENCIAS, registrado con el código COL0093003.

1. Introducción

Desde los primeros tiempos, los humanos han mirado hacia el cielo nocturno con la esperanza de encontrar respuestas a algunas de las mayores incógnitas de la vida y han imaginado innumerables sueños entre las incontables estrellas y galaxias del Universo conocido. Posteriormente, en los primeros años de exploración espacial, la humanidad proporcionaría al mundo una simple narración: la competencia de “vida o muerte” entre la Unión Soviética y los Estados Unidos que culminaría en la Luna, en julio de 1969. Seguidamente, aunque con menor notoriedad, otros Estados comenzaron también a construir sus programas espaciales, ya que aparte de Inglaterra y Francia, Japón lanzaría su primer satélite en febrero de 1970, seguido de China en abril del mismo año y luego India en 1980; Israel los seguiría en 1988.

No obstante, los primeros años del siglo XXI proporcionarían una narrativa más compleja para la exploración y explotación del espacio ultraterrestre. China se unió a las superpotencias espaciales de la Federación de Rusia y de los Estados Unidos para lograr el vuelo espacial tripulado en 2003, y no mucho tiempo después, China, India y Japón lanzarían sondas lunares, entre 2007 y 2008. Además, nuevos actores estatales comenzaron a invertir recursos sustanciales y energía en el desarrollo espacial: Brasil construyó su propio lanzador, Corea del Norte intentó lanzar un satélite a órbita, Corea del Sur comenzó su propio programa de cohetes, y en un momento de tensión política y militar, Irán puso en órbita su primer satélite. En consecuencia, ante una presencia mayor en el número de actores estatales y no estatales en el espacio

exterior, y a medida que la Revolución en los Asuntos Militares (RAM) de las últimas dos décadas ha traído consigo una creciente dependencia de las tecnologías satelitales, el interés académico en la militarización y las futuras interacciones geopolíticas de los Estados con las órbitas de la Tierra y sus regiones espaciales cercanas, comienzan a ser cada vez más apremiantes.

Sin embargo, el futuro de la presencia colombiana en el espacio exterior, en contraste con el de otros actores estatales, no sería del todo clara, si se toma en consideración que los problemas con el financiamiento y la fijación de objetivos de una política espacial por parte del Estado colombiano son todavía recurrentes. Por ende, para comprender, diseñar y aplicar una futura estrategia espacial por parte de Colombia, es esencial entender el espacio exterior como un dominio estratégico. En efecto, la utilidad del análisis geopolítico como marco metodológico en el estudio del espacio ultraterrestre, parte del principio de que el espacio exterior es uno de los cinco dominios estratégicos de un Estado (los otros son tierra, mar, aire y ciberespacio), que, si bien son distintos, están interconectados (Lonsdale, 1999; Álvarez, Santafé y Burbano, 2017).

Cohen (2014) ha señalado que el significado del término “geopolítica” es ambiguo, ya que podría señalar muchas formas diferentes de analizar la conexión entre el espacio y la política. No obstante, la geopolítica como disciplina de la geografía humana, al ser un subcampo en una frontera entre las ciencias sociales y la geografía, se centra en el análisis de la relación entre los procesos políticos y el espacio geográfico. Empero, esta relación no solo incluye patrones geográficos sino también el de hallazgos de otros campos (economía, demografía, etc.), por lo que el análisis geopolítico apunta a una investigación más profunda de casos seleccionados, y en un contexto global (Glassner, 1996). En este orden de ideas, para Grygiel (2006, p. 43) la geopolítica es “una realidad objetiva, independiente de los deseos e intereses estatales, que está determinada por rutas y centros de recursos”. Es decir, que entiende la “geopolítica” como:

El factor humano dentro de la geografía. Es la distribución geográfica de centros de recursos y líneas de comunicación, asignando valor a las ubica-

ciones según su importancia estratégica. La situación geopolítica es el resultado de la interacción de la tecnología ampliamente definida y la geografía, que altera la importancia económica, política y estratégica de las ubicaciones. (p. 22)

Con base en la definición anterior, este capítulo entiende la geopolítica como una herramienta para el estudio de un espacio geográfico específico en el contexto de la lógica estratégica de los actores que actúan dentro de un dominio influenciado por su entorno, tomando en cuenta que “la política espacial internacional puede tratarse como la proyección de la geopolítica terrestre” (Wang, 2013, p. 154). Es necesario mencionar que los autores de este capítulo rechazan los puntos de vista anti-geopolíticos de Ó Tuathail (1996) y MacDonald (2007), ya que parecerían omitir que “la perspectiva geopolítica es dinámica, y evoluciona a medida que cambia el sistema internacional y su entorno operativo” (Cohen, 2014, p. 5). Sin embargo, no significa que permanezcan ciegos respecto de algunas ideas y temas perspicaces aportados por la escuela de la geopolítica crítica, ya que el cuestionamiento a los intentos de la geopolítica clásica de establecer reglas y principios tiene ciertamente algún valor, por lo que el desafío a la geopolítica clásica y al determinismo geográfico que surgió en el campo de la geopolítica crítica no puede omitirse.

Entonces, este documento analiza el espacio exterior como dominio geopolítico a partir de los marcos metodológicos de las escuelas geopolíticas angloamericana, francesa y colombiana, representados en los aportes teóricos y conceptuales de Dolman (2005), Dussouy (2010), Al-Rodhan (2012) y Álvarez (2017a). Con relación a las contribuciones de la escuela geopolítica francesa (Lévy, 2000; Dussouy, 2010), éstas guardan similitudes con el enfoque de la moderna escuela geopolítica angloamericana de la meta-geopolítica (Al-Rodhan, 2012), pero son distintas de la última, ya que no reconoce explícitamente los tipos de acciones que se logran mediante la utilización del espacio, sino que se centran en la composición del entorno geopolítico dentro de diferentes escenarios. La escuela geopolítica francesa trabaja con la visión holística de la geopolítica, entendida como un sistema de espacios que incluye todas las áreas

de la actividad humana, desde las características físicas de un territorio dado, a las relaciones económicas, el poder militar, etc.

En consecuencia, los autores de este capítulo toman en consideración el hecho de que la utilización del espacio exterior no es un proceso conformado simplemente por las características físicas del dominio en combinación con los intereses militares. Por el contrario, ofrecen algunas propuestas para futuras actividades colombianas en el dominio del espacio ultraterrestre que no se limitan a la dimensión militar, presentando el espacio exterior como un espacio físico y natural; un campo diplomático-militar; también socioeconómico, siguiendo así la perspectiva presentada por Dussouy (2010). En efecto, Dussouy (2010) propone cinco campos que deberían analizarse para comprender la geopolítica como una disciplina holística, y para entender cualquier espacio o territorio en particular: 1) espacio físico y natural; 2) espacio demográfico; 3) campo diplomático-estratégico; 4) campo económico y 5) campo simbólico.

La razón por la que este capítulo trata solo con tres de ellos es simple: primero, no se aborda el espacio demográfico, ya que la única estructura habitada permanentemente en el espacio exterior en la actualidad es la Estación Espacial Internacional (EEI)⁴⁰; en segundo lugar, no se trata el campo simbólico⁴¹, puesto que la investigación del papel del espacio exterior en la cultura popular o del discurso oficial sobre el espacio estaría más allá del alcance de este trabajo. Sin embargo, ambos dominios del espacio exterior se mencionan a lo largo del análisis (por ejemplo, sitios potenciales para el asentamiento humano en cuerpos celestes o efectos de diferentes escuelas de pensamiento sobre el desarrollo de la estrategia espacial), ya que el análisis geopolítico se compone de una comprensión integral de todos los factores que influyen en las relaciones de poder (Al-Rodhan, 2012).

Por último, Graham (2004) ha señalado que la geopolítica ha tendido a ser un discurso plano, preocupado solo por los eventos en el eje horizontal de la superficie terrestre. El trabajo de Graham, así como los

40 Y en el futuro previsible, el número de habitantes no será lo suficientemente grande como para proporcionar un análisis demográfico extenso.

41 Para mayor información con relación a este campo, véase Bormann y Sheehan (2009).

de Weizman (2007), Williams (2007; 2010) y Álvarez (2017b), afirman que se debería tener en mayor consideración la dimensión vertical del territorio soberano, al considerar el espacio de batalla contemporáneo y la seguridad de las fronteras tridimensionales del moderno Estado-nación; sin embargo, este compromiso geopolítico con la dimensión aérea se ha detenido en los límites de la atmósfera terrestre, lo que sugiere una presencia de una línea imaginaria que lo separa del vacío del espacio exterior.

Por ende, las consecuencias para la seguridad multidimensional de esta “falta” de territorio soberano en el espacio ultraterrestre han impulsado un creciente interés en este ámbito en los últimos años. El espacio exterior, así como la tierra, el mar y el aire, sirve como un nuevo “escenario” geográfico, no sólo para la exploración y cooperación humana, sino también para la explotación y la competencia; y como la tecnología que se ha desarrollado hace que la exploración y explotación de este nuevo “espacio” humano sea posible, con el aumento de la capacidad tecnológica, los Estados que participan en el espacio exterior han trascendido las limitaciones geográficas tangibles de sus territorios terrestres, proyectando al espacio exterior, las relaciones geopolíticas. Por tanto, este capítulo tiene como objetivo proponer los imperativos astropolíticos de Colombia, basados en los marcos metodológicos de la astropolítica (Dolman, 2005) y la ocupación de espacios vacíos (Álvarez, 2017a).

2. Astropolítica: una aproximación geopolítica del Sistema Solar

Como ya se mencionó, la “geopolítica” ha sido un concepto controvertido. Tanto así, que en la actualidad existirían dos perspectivas académicas distintas: la crítica y la clásica⁴². Por un lado, la geopolítica crítica ha estado “dedicada al estudio de cómo el espacio geográfico está representado por los actores políticos como parte de un proyecto más

42 Para la geopolítica clásica, véase Parker (1985); Gray y Sloan (1999); Cohen (2014). Para la geopolítica crítica, Agnew y Corbridge (1995); Ó Tuathail (1996); Ó Tuathail et. al. (1998).

amplio de acumulación, gestión y engrandecimiento del poder” (Bassin, 2004, p. 620); por otro lado, la geopolítica clásica “trata el espacio geográfico como una precondition existencial para toda política”, por lo que “debe servir como punto de partida para todo análisis político y formulación de políticas” (Bassin, 2004, p. 621). Como la geopolítica clásica es en realidad la “geopolítica” en su uso convencional, y se agrega la etiqueta “clásica” para distinguirla de la geopolítica crítica progresiva y de izquierda, los autores de este capítulo utilizan el término “geopolítica” como un sinónimo de la geopolítica clásica⁴³.

Desde el punto de vista académico, la geopolítica es en realidad un cuerpo particular de pensamiento que “aborda las preguntas en la confluencia de tres disciplinas académicas dispares y sus preocupaciones fundamentales: geografía, historia y estudios estratégicos” (Sloan, 2017, p. 7). A partir de este cuerpo de pensamiento, se espera desarrollar un marco de análisis para la política y la estrategia en la política mundial, y en vista de su núcleo teórico, podría decirse que la geopolítica puede considerarse una rama integral de las teorías realistas en Relaciones Internacionales, es decir, una forma particular de realismo⁴⁴ que se basa en la influencia de los entornos naturales definidos por la geografía y la tecnología (Ashworth, 2010). Esto es así no solo porque realistas prominentes como Henry Kissinger y Zbigniew Brzezinski han afirmado que la geopolítica racionaliza los análisis estratégicos o justifica las recomendaciones políticas, sino también porque, como un cuerpo particular de pensamiento, comparte con las teorías realistas las mismas suposiciones teóricas o “sesgos”⁴⁵, como, por ejemplo, que un orden internacional estable dependería del mantenimiento de un “equilibrio de poder” en el sistema⁴⁶.

43 Durante muchos años, la geopolítica ha sufrido abusos por falta de una rigurosa definición, lo cual ha obstaculizado el progreso de su estudio. Para una excelente discusión de las definiciones de geopolítica, ver Osterud (1988); Owens (2015); Sloan (2017). Para la evolución del pensamiento realista clásico, incluida la geopolítica clásica, véase Haslam (2013).

44 Para la congruencia entre la geopolítica clásica y las teorías realistas en Relaciones Internacionales, especialmente las clásicas, ver también Hepple (1986); Gray (2004); Ashworth (2013); Owens (2015).

45 El realismo no es una teoría, sino una escuela de teorías que comparten algunos supuestos teóricos comunes. Para un resumen de las definiciones canónicas del realismo en Relaciones Internacionales, ver Donnelly (2000); para la evolución de las teorías realistas contemporáneas, ver Guzzini (1998).

46 Para ampliar los aportes del realismo a la teoría del equilibrio de poder, ver Lévy (2003; 2004; 2012).

La geopolítica clásica trata de los patrones recurrentes de desarrollo e interacciones de varios actores geopolíticos en un espacio geográfico determinado. Integra tres tipos de actores geopolíticos (poderes marítimos, poderes terrestres y poderes híbridos tierra-mar), y al menos cinco variables de poder tecnológico (marítimo, terrestre, aéreo, espacial y cibernético). En otras palabras, la economía y la tecnología son integrales, y no serían ajenas a la geopolítica clásica. Pues bien, la aparición de nuevos centros de poder económico y los cambios en la comunicación, el transporte y la tecnología de armas vienen alterando los cálculos geopolíticos de un Estado, lo que obliga al geopolitólogo a ajustar su marco de análisis a los nuevos escenarios de competencia, entre los cuales se encuentra el espacio exterior, ya que la geopolítica clásica es una síntesis de geografía, historia y estrategia. Por ende, la relevancia de los principales postulados de la geopolítica clásica para los estudios geopolíticos del espacio ultraterrestre se basa en el hecho de que las realidades geopolíticas, especialmente la interacción entre la geografía, la tecnología y las actividades humanas, siguen siendo importantes para la política y la estrategia.

De acuerdo con Dolman (2005), la “astropolítica” estudia la “relación entre el espacio ultraterrestre y la tecnología, así como el desarrollo de directrices y estrategias de carácter político y militar” (p. 12). Por su parte, la “astroestrategia” es la “identificación de ubicaciones críticas en el espacio ultraterrestre y la Tierra, cuyo control puede proporcionar el dominio militar y político del espacio exterior” (p. 12).

Como la geografía política se centra en las relaciones realizadas por el hombre a partir de concepciones artificiales de Estado, nación y país (Álvarez, Ramírez y Castaño, 2018), la geografía política es una subdivisión de la geografía humana que estudia la relación entre las fronteras políticas y los dinámicos procesos sociopolíticos; se diferencia de la geopolítica en que no busca inherentemente un resultado geográficamente determinista. En este orden de ideas, la “astrografía política” sería la contraparte espacial de las disciplinas de la física y la geografía política vinculadas a la Tierra; sería la descripción de las características físicas del espacio exterior, superpuestas con límites y características derivadas

por la política y la tecnología, (por ejemplo, el cinturón geoestacionario). Sin embargo, a diferencia de la geografía política, que no afirma tener una relación sinérgica con la geopolítica, la astrografía es un elemento fundamental de la astroestrategia.

La astropolítica es una extensión de las teorías de la geopolítica clásica de los siglos XIX y XX a la conquista humana del espacio exterior. En una interpretación más general, es la aplicación de la visión realista prominente y refinada de la competencia estatal en la política del espacio ultraterrestre, por lo que Dolman (2005) combina los aportes de las escuelas del terreno elevado y de control, argumentando la necesidad de una visión realista en el desarrollo de la teoría del poder espacial.

2.1. Antecedentes teóricos de la astropolítica

La geopolítica es tan antigua como el estudio mismo de la política; en efecto, Aristóteles, Platón y otros pensadores de la antigüedad entendieron claramente que la política estaría conformada y limitada por la naturaleza. Sin embargo, la geopolítica como disciplina académica tuvo su origen en la Europa de fin de siglo⁴⁷, en respuesta a una serie de revoluciones tecnológicas en la comunicación, el transporte y el armamento, así como en la creación de un “sistema político cerrado” que iría conformándose a medida que los descubrimientos geográficos europeos y la competencia imperialista extinguieron las “fronteras” globales (Owens, 2015).

En consecuencia, la geopolítica del fin del siglo XIX generó tres líneas principales de pensamiento: la geopolítica angloamericana, la geopolítica alemana y la geopolítica francesa. Sin embargo, desde el final de la Segunda Guerra Mundial, la geopolítica alemana (a excepción de algunos estudios históricos críticos), ha desaparecido de los estudios de la geografía y las Relaciones Internacionales, debido a la asociación de teóricos como el biólogo y geógrafo alemán Friedrich Ratzel, el científico político sueco Rudolf Kjellen, y el general germano Karl Haushofer,

47 Para los orígenes de la geopolítica moderna, ver Kristof (1960); Parker (1985); Dodds y Atkinson (2000).

con la política exterior de los nazis durante la Segunda Guerra Mundial. Se cree que la Geopolitik (la ciencia alemana de la geopolítica), llevó el estudio geopolítico a un extremo pervertido al afirmar que las características geográficas de la tierra justificaban la expansión racial alemana. La consecuencia de la degeneración nazi fue que la geopolítica como actividad académica se convirtió en una víctima de la guerra, y el estudio de la geopolítica se consideró una perversión de su origen intelectual⁴⁸. Por su parte, la geopolítica francesa, a pesar de sus rasgos manifiestamente humanísticos, también se ha desvanecido, y tan solo su legado intelectual podría encontrarse en los estudios de la geografía política del presente⁴⁹ (Hepple, 1986).

Solo la geopolítica angloamericana sobrevivió en la era de la posguerra, y después de un declive inicial en los primeros años, fue recuperada progresivamente desde la década de 1970 por figuras tan prominentes como Henry Kissinger, Zbigniew Brzezinski y Colin S. Gray. Por ende, la geopolítica angloamericana ha tenido un grupo de teóricos altamente reconocidos, basada principalmente en las contribuciones de tres pensadores geopolíticos prominentes: el historiador naval estadounidense Alfred Thayer Mahan, el geógrafo político británico Halford John Mackinder y el politólogo estadounidense Nicholas John Spykman⁵⁰. Esas tres teorías son homogéneas en naturaleza y complementarias en sustancia, por lo que teóricamente podrían tratarse como una totalidad orgánica, ya que sentaron las bases más importantes para el posterior análisis geopolítico y la teoría geopolítica.

En términos de orientación teórica, Mahan, Mackinder y Spykman se consideran unánimemente realistas, y sus credenciales realistas ya se han debatido en diversos trabajos académicos (Russell, 2006; Ashworth, 2010; Gray, 2015). Esas tres teorías comparten con las teorías realistas convencionales los mismos supuestos sobre la naturaleza anárquica del

48 Para mayor información sobre la geopolitik alemana y su asociación con las políticas exteriores expansionistas de los nazis antes de 1945, ver Whittlesey (1942) y Murphy (1997).

49 Para la geopolítica alemana y la geopolítica francesa, ver Dijkink (1996); Parker (1998); van der Wusten y Dijkink (2000).

50 Para Mahan, Mackinder y Spykman, ver Sumida (1999); Sempa (2002); Hughes y Heley (2015); Gray (2015).

sistema internacional, que la unidad de análisis preferente es la del Estado, y que las dinámicas entre las unidades de análisis están determinadas por las capacidades de poder. Es en este sentido que la geopolítica clásica, encarnada en las teorías de Mahan, Mackinder y Spykman, puede considerarse una parte integral de las teorías realistas en Relaciones Internacionales. En otras palabras, la geopolítica clásica sería en realidad una forma particular de realismo, basada en la influencia de los entornos naturales definidos por la geografía y la tecnología.

La característica principal de las teorías realistas es la suposición de la anarquía internacional, la cual implica caos o desorden (Waltz, 1979). Esta falta de orden se asociaría con la existencia de un estado de guerra y se vincularía con la analogía hobbesiana de la política en ausencia de un soberano. En este sentido, para los realistas, las relaciones internacionales representan un conflicto perpetuo entre Estados, asemejándose a un juego de suma cero; y el sistema internacional sería en realidad un escenario caótico de guerra de todos contra todos (Bull, 2002). La geopolítica clásica también asume que las relaciones internacionales estarían basadas en el estado de naturaleza hobbesiano, y que la guerra es típica de la actividad internacional en su conjunto.

Por tanto, la geopolítica clásica describió un mundo del poder marítimo vs. el poder terrestre, el mundo marítimo vs. el continental, *heartland* vs. *rimland*, y así sucesivamente (Fettweis, 2015; Kaplan, 2015), tratando de representar que los Estados están en competencia perpetua y existencial, lo que ocasionalmente produce conflictos. El cambio de poder causado por los avances en la tecnología, así como por la aparición de nuevos centros de recursos naturales y poder económico, no solo constituyen los temas perdurables de la geopolítica clásica, sino que también son indicativos de la naturaleza competitiva en un ambiente de anarquía internacional percibida por los pensadores geopolíticos clásicos.

Para las teorías realistas, la unidad de análisis más justificada son los Estados territoriales soberanos, ya sean Estados dinásticos característicos de los primeros tiempos de la modernidad, o Estados nacionales del mundo contemporáneo. Así mismo, los Estados constituyen la unidad básica de análisis en la geopolítica clásica, considerándose objetos espa-

ciales, y sus interacciones, como fenómenos espaciales (Parker, 1998), por lo que, en esencia, la geopolítica clásica “consiste en el estudio de los Estados como un fenómeno espacial, con el fin de llegar a una comprensión de las bases de su poder y la naturaleza de sus interacciones” (Parker, 1991, p. 22). Los Estados en la geopolítica clásica (como en las teorías realistas), son actores egoístas por naturaleza, y los más importantes son aquellos que se definen por su tamaño territorial, sus ubicaciones geográficas, sus recursos materiales y sus orientaciones estratégicas (Gerace, 1991). Por tanto, las grandes potencias serían las marítimas, las terrestres o continentales, y las híbridas del *rimland* (Álvarez, et al., 2018).

Al igual que las teorías realistas, la geopolítica clásica también exhibe una tendencia inequívocamente materialista caracterizada por la política de poder. Teóricamente, la geopolítica clásica integra dos conjuntos distintos de variables: geografía (incluida la geografía natural y humana), y tecnología (incluida la tecnología material y organizativa). Lo que le preocupa a la geopolítica clásica son las interacciones entre la geografía y la tecnología, así como todas las implicaciones políticas o estratégicas resultantes de esas interacciones (Walton, 2007). Según Grygiel (2006), la geopolítica clásica incorpora tres tipos principales de actores geopolíticos (poderes marítimos, poderes terrestres y poderes híbridos tierra-mar), e integra al menos cinco variables de poder o tecnología (poder marítimo, poder terrestre, poder aéreo, poder espacial y poder cibernético). Con base en lo anterior, lo que el análisis geopolítico pretende comprender son las implicaciones políticas y estratégicas del cambio de esas cinco variables de poder (tecnología), para los tres tipos de actores geopolíticos en la política mundial. En otras palabras, cómo el cambio de tecnología puede alterar las implicaciones políticas o estratégicas de los determinantes geográficos de la política y la estrategia (Álvarez, et al., 2017a).

A pesar de compartir los mismos supuestos teóricos, la geopolítica clásica se distingue de las teorías realistas convencionales por tres características: primero, la geopolítica clásica es holística más que reduccionista, es decir, integra las variables a nivel de unidad y de sistema⁵¹;

51 Para el nivel de análisis, ver Buzan (1995).

la geopolítica podría definirse en principio en términos generales, como el estudio del escenario internacional desde una perspectiva espacial o geocéntrica, y la comprensión del todo como su objeto y justificación final. Una parte esencial de la geopolítica clásica es el examen de los componentes, pero esto se lleva a cabo con el propósito de alcanzar una comprensión más clara del todo; los Estados individuales pueden verse como los ladrillos, “pero son los patrones y las estructuras que hacen en combinación los principales intereses de la investigación geopolítica” (Parker, 1985, p. 22).

En segundo lugar, la geopolítica clásica es dinámica más que estática, por lo que está equipada para explicar los cambios y la continuidad en la política mundial. Lo que describe la geopolítica clásica es el nexo de factores geográficos y desarrollos tecnológicos, los cuales tienden a ser dinámicos en la medida que el surgimiento de nuevas tecnologías puede alterar las implicaciones políticas o estratégicas de la geografía (Grygiel, 2006). Tercero, la geopolítica clásica es interdisciplinaria por naturaleza, ya que, como ciencia de la política y la estrategia, es una síntesis de tres disciplinas distintas: geografía, historia y estrategia (Álvarez, et al., 2018).

En resumen, de lo que se ocuparía principalmente la geopolítica es de la interacción entre geografía y tecnología, así como de las implicaciones políticas y estratégicas de esa interacción; además, intenta llamar la atención sobre la importancia de ciertos patrones geográficos en la historia política o estratégica. De allí se pueden deducir ciertas explicaciones o predicciones para ayudar a las personas a comprender la situación a la que se enfrentan, así como sus implicaciones o consecuencias políticas o estratégicas (Sloan, 2017).

Según Dolman (2005), la influencia de las tecnologías emergentes en la geografía es la base del pensamiento de los estrategas geopolíticos, y uno de los primeros que comprendió esta relación fue el economista alemán Friedrich List (1909a; 1909b; 1909c). En efecto, su mayor contribución a la estrategia moderna fue su elaborada discusión sobre la influencia de los ferrocarriles en el cambiante balance del poder militar en Europa, al reconocer que la plena incorporación de esta nueva tecno-

logía de transporte alteraría fundamentalmente las relaciones políticas de las grandes potencias. List (1983) vio una red ferroviaria nacional como el cemento de la unificación alemana, cambiando la posición estratégica de Alemania de un campo de batalla asediado de Europa, a un baluarte defensivo que operaría con las ventajas de las líneas interiores. Antes del ferrocarril, Alemania tenía que mantener ejércitos separados en el este y el oeste (y ocasionalmente en el sur), pero con esta nueva tecnología, el poder militar podría transferirse rápidamente de frente a frente según fuese necesario; eventualmente, la importancia militar de la energía ferroviaria que List describiría fue validada abrumadoramente con la victoria de los Estados del norte en la Guerra Civil de los Estados Unidos, y más enfáticamente en el espectacular éxito alemán en la Guerra Franco-Prusiana.

El poder ferroviario no tendría un paralelo claro con el poder espacial, con la excepción de que, como una nueva tecnología de transporte e información, el despliegue de activos espaciales seguramente tendrá el potencial de alterar las relaciones políticas y militares de los poderes tradicionales a nivel global y regional. En cierto sentido, el control de una red espacial global brindaría las ventajas previas de las líneas interiores (rápida reubicación de los activos militares, monitoreo eficiente de todos los frentes, e incluso, un sentido nacionalista de unificación), de lo que tradicionalmente se ha visto como una clásica posición de línea exterior. Éste sería un debate en curso sobre el surgimiento de las comunicaciones e información en los entornos espaciales, que pronto podría intentar involucrar al ciber-espacio en términos geopolíticos similares⁵².

Como marco teórico, la geopolítica clásica incorpora un cuerpo bien establecido de teorías estratégicas. Basado en los trabajos de Mahan, Corbett, Mackinder, Spykman, Douhet, Mitchell, De Seversky y

52 La fibra óptica proporciona una enorme capacidad de transmisión de datos, pero limita al usuario al acceso por cable. Y si bien es potencialmente más segura, puede ser objeto de interrupciones a través de métodos convencionales (simplemente cortar la línea). En contraste, las comunicaciones espaciales son más caras y requieren un mantenimiento mucho mayor, pero no limitan la ubicación del usuario ni la cobertura del objetivo. Aunque las comunicaciones basadas en el espacio requieren técnicas de encriptación sofisticadas para la seguridad, y pueden estar limitadas por interferencias electrónicas, actualmente son extremadamente seguras.

Warden⁵³ (Álvarez et. al, 2018), se desarrollarán a continuación las principales teorías de la geopolítica clásica, como antesala a la proposición de la astropolítica y los imperativos astropolíticos de Colombia.

2.1.1. *El poder marítimo desde la perspectiva de Mahan y Corbett*

Mahan (1890) creía que el poder marítimo era la clave para que un Estado pudiese alcanzar el estatus de gran potencia (Álvarez, et al., 2018), y consideraba que este poder estaba en cierta medida geodeterminado. Para lograr el poder marítimo supremo, un Estado debía estar dotado de una costa “fronteriza” adecuada, así como puertos numerosos y profundos⁵⁴, fácil acceso a mar abierto, y una población proporcionada (en la medida de lo posible), a la costa del mar que tendría que defender. Mahan creía que un Estado dotado de una posición geográfica que permitiera tanto la concentración de las fuerzas navales como, cuando fuera apropiado, su dispersión, era primordial en la ecuación del poder estatal moderno⁵⁵.

Sin embargo, tales características físicas ventajosas no garantizarían que el Estado marítimo tuviera las herramientas necesarias para el dominio naval. La cultura marítima de un Estado también jugaría un papel central, ya que apreciaría el valor de la actividad basada en el mar. Además, dicha cultura debiera ser comercialmente agresiva, buscando generar ganancias racionales que reconocieran la generosidad potencial del comercio marítimo. Esta conciencia marítima formaría la flota comercial en tiempos de paz, adquiriendo las habilidades y la experiencia necesarias para hacer una gran reserva nacional para la movilización en con-

53 Para estudiar la filosofía del poder marítimo de Mahan, ver Mahan (1890; 1892; 1987; 1905); y de Corbett, véase Corbett (1911). Para las principales obras de Mackinder, ver Mackinder (1902; 1904; 1943; 1962). Para los trabajos principales de Spykman, ver Spykman (1942; 1944). Para los teóricos del poder aéreo, ver Douhet (1942); Mitchell (1925) y De Seversky (1941; 1942; 1951), y Warden (1995; 1998).

54 En el ámbito de la astrostrategia, existirían analogías con una “costa” o frontera adecuada en el espacio, en la cual, en lugar de puertos marítimos, un Estado espacial debería estar dotado en la Tierra de sitios efectivos de lanzamiento, monitoreo y control de activos espaciales.

55 Al tener una opinión similar a la de List (1983), Mahan vio que la capacidad de retraer rápidamente a las fuerzas para la defensa del Estado y luego moverlas en la prosecución de acciones ofensivas, era la característica que permitió a poderes navales como la antigua Atenas y Gran Bretaña lograr la hegemonía en sus respectivas eras.

flictos, respaldando en todo momento (mediante sus impuestos y otras contribuciones), la vitalidad de la empresa nacional basada en el mar. El gobierno también debía estar equipado con instituciones apropiadas y funcionarios políticos capaces de reconocer y aprovechar la posición y los atributos del Estado en un entorno comercial altamente competitivo. Tal carácter nacional también sería evidente en el potencial de éxito en los esfuerzos espaciales; todos los Estados han intentado aprovechar una fascinación nacional con la exploración espacial, con promesas de grandes ganancias y aventuras, ya la importancia del espacio como sede de la actividad económica y militar en la actualidad, se asemejaría en ciertos aspectos a las condiciones del comercio marítimo y el poder naval a fines del siglo XIX.

Aunque sus escritos más importantes aparecieron antes de que se acuñara el término “geopolítica”, Mahan (1890) contribuyó sustancialmente a la geopolítica a través de un examen detallado de una lucha de cuatro siglos entre el poder continental europeo y el poder marítimo insular, para el control político de Europa y sus mares adyacentes. Primero, fueron los Habsburgo austríaco-españoles quienes poseían un poder abrumador que asustó a todos los demás y amenazó con unificar la región. Luego, la Francia de Luis XIV amenazó con alcanzar la preponderancia en el continente que, de haber tenido éxito, le hubiese permitido desarrollar el poder marítimo y convertirse, por tanto, en un serio peligro para toda Europa. Posteriormente, sería el turno de Napoleón de buscar el predominio de Francia, no solo en Europa, sino en todo el mundo.

Mahan (1892) ilustró el vínculo entre la supremacía marítima británica y el equilibrio de poder europeo más vívidamente en su examen de la lucha anglo-francesa de 1792 a 1815. Como argumentó, Napoleón controlaba bajo conquista o alianza la mayor parte del continente europeo, e intentó cerrar todos los puertos continentales a los barcos británicos; su intención era “apoderarse de las armadas de Europa y combinarlas en un ataque directo sobre el poder marítimo británico” (Mahan, 1892, Vol. II, p. 276). Mahan entendió que el dominio de Francia en el continente europeo le ofreció a Napoleón la oportunidad de

utilizar todos los recursos del continente para constituir un poder naval superior y así derrotar a los británicos en el mar. En este orden de ideas, la Francia napoleónica no solamente amenazó a Gran Bretaña sino al mundo entero, ya que la hegemonía europea francesa, más la derrota del poder marítimo británico, significarían la dominación mundial para Francia (Mahan, 1897); lo que estaba en juego era, en realidad, el equilibrio global de poder.

En opinión de Mahan, la supremacía del poder marítimo sobre el poder terrestre radicaba no solo en la conveniencia y la economía del transporte por mar, sino también en la productividad de la base terrestre, así como del equilibrio de poder europeo. Si el continente europeo estuviera dominado por una sola potencia, podría derrotar a Gran Bretaña en su propio elemento, o como dijo Napoleón, “conquistar el mar por tierra” (Mahan, 1890, p. 27); por eso Gran Bretaña tuvo que luchar contra Napoleón hasta el final. Como lo ha atestiguado la historia a través de los siglos, si bien los Estados marítimos pueden usar el poder naval (así como el poder aéreo y espacial desde el siglo XX) para defenderse, no pueden permitirse el lujo de que surja un rival continental hegemónico, uno que pueda aislarlos y luego desafiarlos por el dominio de los mares a través del control continental. Esto explica por qué las potencias marítimas dominantes, aunque tienen pocos incentivos para expandir su influencia en el continente, intervienen regularmente en el continente para restablecer allí el equilibrio de poder. Sin embargo, dentro de los poderes marítimos, ha surgido regularmente tensión entre aquellos que han abogado por una gran estrategia con compromisos continentales, y aquellos que han instado a una estrategia marítima pura sin enredos continentales.

A pesar de que Corbett (1911) escribió sobre los mismos temas que Mahan, muchos consideran que la teoría y las estrategias de Corbett son más precisas y completas que las mahanianas (Klein, 2004). Corbett escribe sobre las implicaciones del poder nacional de las operaciones marítimas tanto en tiempos de paz como de guerra, y además de abordar el impacto obvio contra las fuerzas navales, Corbett (1911) destaca repetidamente el papel de la acción marítima en el comercio y la economía.

Según sus apreciaciones, interferir con el comercio del enemigo no es solo un medio de ejercer presión económica, sino también un mecanismo para derrocar el “poder de resistencia” del adversario. Efectivamente, la economía de un Estado es un factor importante para mantener una guerra prolongada, y “en igualdad de condiciones, es el bolsillo más hondo el que gana” (Corbett, 1911, p. 102). En consecuencia, la guerra naval debe intentar socavar la posición financiera del enemigo. Como el objetivo de la guerra naval es proteger y defender las comunicaciones marítimas, y las actividades marítimas influyen en el bienestar económico de los Estados, Corbett (1911) deduce que la acción naval puede influir en el equilibrio de poder y riqueza entre los Estados.

No obstante, aunque afirma que la acción naval es importante en la guerra, Corbett (1911) advierte que las fuerzas terrestres y marítimas son interdependientes y, por tanto, deben trabajar juntas para lograr el objetivo político, ya que la estrategia y las operaciones navales son solo un subconjunto de las operaciones generales en tiempos de guerra. Como resultado, el propósito de la estrategia marítima de un Estado es determinar las “relaciones mutuas de su ejército y armada en un plan de guerra” (Corbett, 1911, p. 16). A diferencia de Mahan (1890), Corbett creía que era primordial que la estrategia naval funcionase dentro de una estrategia general de guerra, ya que era casi imposible que la guerra se decidiese solo por la acción naval. Además, como la población vive en la tierra y no en el mar, el desenlace de la guerra entre Estados siempre se ha decidido por “lo que un ejército puede hacer contra el territorio y la vida nacional de un enemigo, o bien por el miedo a lo que una marina pueda hacer para facilitar el despliegue de un ejército en tierra” (Corbett, 1911, p. 16).

Las comunicaciones marítimas pertenecen a aquellas líneas de comunicación por las cuales el flujo de “vida nacional se mantiene en tierra”, por lo que tienen un mayor significado y no son análogas a las líneas de comunicaciones tradicionalmente utilizadas por los ejércitos terrestres. Corbett (1911) describe cómo las líneas de comunicación terrestres de cada beligerante tienden a correr aproximadamente en direcciones opuestas, hasta que se encuentran en el teatro de operaciones. Por el

contrario, las líneas de comunicación marítimas de cada beligerante tienden a correr en paralelo, o incluso pueden ser una misma. Debido a que las líneas marítimas de comunicación entre los beligerantes a menudo se comparten, Corbett (1911, p. 100) declaraba que “no podemos atacar las del enemigo sin defender las nuestras”.

Como resultado, la estrategia naval tendría como objetivo principal el control del paso y la comunicación, por lo que una flota naval se ocuparía principalmente de proteger las propias líneas marítimas de comunicación y apoderarse de las del enemigo. Si bien las comunicaciones marítimas incluyen líneas de suministro y comercio, también comprenderían líneas de comunicación que son de naturaleza estratégica y, por tanto, críticas para la supervivencia de un Estado. En este sentido, Corbett (1911) describe tres tipos de línea de comunicación marítima: aquellas para apoyar a la flota naval, las requeridas por un ejército de ultramar y las rutas comerciales.

Estrechamente relacionada con las comunicaciones marítimas estaba la idea del “comando del mar”. Según Mahan (1890) y Corbett (1911), dado que el mar es valioso por ser un medio de comunicación, el objeto de la guerra naval siempre será el de asegurar el dominio del mar. Como el mar no puede estar sujeto a dominio o propiedad política (al menos en aguas internacionales), y los Estados no pueden ser excluidos de los océanos, el “comando del mar” solo existe en un estado de guerra. Corbett (1911) diferencia el comando del mar en función del tamaño del área dominada (general o local), y la duración en que se logra (temporal o permanente). El comando general se logra cuando el enemigo ya no es capaz de actuar “peligrosamente” contra las propias líneas de paso y comunicaciones, o cuando incluso no tiene las capacidades para defender las suyas; como resultado, el enemigo no puede interferir seriamente contra las propias actividades comerciales, militares o diplomáticas. Aunque el comando del mar es importante para proteger las comunicaciones marítimas, Corbett observa que la historia ha demostrado que el estado normal de las cosas no es un mar “ordenado” sino uno “desordenado”, lo que indicaría que el comando normalmente está en disputa.

Mahan (1890) y Corbett (1911) también reflexionan sobre el uso de posiciones estratégicas, concordando en que la victoria en el mar depende de la fuerza relativa de la fuerza propia contra la del enemigo, así como la explotación de las posiciones. Por posiciones se refieren a bases navales, puertos de comercio marítimo y áreas focales donde las rutas comerciales tienden a converger (estrechos o canales). Estas posiciones estratégicas influyen en el movimiento del comercio o las flotas y, si se explotan correctamente, se crean condiciones favorables para la batalla; las posiciones estratégicas permiten que una fuerza naval restrinja la cantidad de fuerza enemiga a enfrentar, obteniendo así una ventaja estratégica.

Así mismo, dominar posiciones estratégicas relacionadas con el comercio permite disminuir el potencial del enemigo en involucrarse en una guerra prolongada. Entonces, en lugar de buscar la flota del enemigo, es más efectivo controlar sus puertos y puntos de estrangulamiento marítimo, amenazando en consecuencia su comercio y potencialmente atrayendo a su flota a la batalla en los propios términos.

2.1.2. *La teoría del poder terrestre de Mackinder, Spykman y Haushofer*

Mackinder (1902) reconoció la importancia histórica que jugó el poder marítimo en el ascenso y la desaparición de las grandes potencias, pero previó el final del dominio naval con la llegada del ferrocarril. Esta tecnología emergente permitiría la consolidación eficiente de la enorme masa continental de Eurasia, un área a la que Mackinder (1904) se refirió en un principio como el “pivote geográfico de la historia”; por ende, la principal contribución de Mackinder a la geopolítica fue la teoría del *heartland*, la cual revisó tres veces a lo largo de su carrera (Álvarez, et al., 2018). Esta teoría se basó en una revisión de las luchas históricas entre los poderes marítimos insulares y poderes terrestres peninsulares, como fueron los casos de Creta vs. Grecia; Gran Bretaña celta contra Roma y Gran Bretaña vs. las potencias continentales europeas. A partir de este análisis, Mackinder reveló tres ideas geopolíticas (Sempa, 2002): 1) el poder marítimo depende de bases terrestres seguras e ingeniosas;

2) un poder terrestre peninsular, liberado de los desafíos de otros poderes terrestres y al mando de mayores recursos, puede derrotar a los poderes marítimos insulares y, 3) la posición estratégica óptima es aquella que combina insularidad y mayores recursos.

Para Mackinder (1904), la masa continental euroasiática⁵⁶ o “Isla-Mundo”, tenía la característica de una potencial insularidad, por lo que un gran poder terrestre al mando de los recursos de la Isla Mundial, y liberado de los desafíos de otros poderes terrestres, también podría convertirse en el poder marítimo preeminente (Mackinder, 1962), ya que al controlar los vastos recursos naturales del *heartland*, éstos le permitirían tener acceso al mar y construir una armada que, solo por números, podría abrumar a los poderes marítimos periféricos. La tesis de Mackinder no es simplemente un caso de que el poder terrestre sea superior al poder marítimo; para derrotar el poder marítimo insular, un poder terrestre tenía que ser desafiado por tierra y poseer suficientes recursos para permitirse construir una flota lo suficientemente poderosa. En ausencia de las dos condiciones, prevalecería un poder marítimo insular como Gran Bretaña. Según esta lógica, un poder terrestre que gana el control sobre una gran parte de la Isla Mundial podría aprovechar los vastos recursos de esta prominente base terrestre para construir la armada más poderosa del mundo y abrumar a todos los poderes insulares restantes. Así, Gran Bretaña debía oponerse a cualquier poder europeo que unificase o lograra la hegemonía en el continente.

Como argumentó Mackinder (1962), el área estratégicamente más importante de la Isla Mundial era el *heartland*, que describió como la sede potencial del Imperio Mundial. Esta gran llanura ininterrumpida del interior de Eurasia, inaccesible al poder marítimo y adecuada para el poder terrestre altamente móvil, brindó a sus ocupantes la oportunidad de expandirse en todas las direcciones, excepto hacia el norte (Ártico). Mackinder (1904) admitió que los imperios anteriores basados en el *heartland* no lograron dominar el mundo, pero se atribuyó a una base insuficiente de mano de obra y a una falta de movilidad relativa con respecto al poder marítimo; no obstante, el aumento de

56 Que contenía la mayoría de las personas y los recursos del mundo.

la población y la expansión de los ferrocarriles habían eliminado esos dos obstáculos en el siglo XX. Por tanto, la dinámica clave en el reordenamiento geopolítico sería el cambio en la tecnología de transporte y la importancia de la movilidad militar. En efecto, cuando el caballo fue domesticado y criado para permitir el peso antinatural de un jinete, surgió la primacía de la caballería; adicionalmente, el desarrollo del estribo proporcionó a la caballería la capacidad necesaria para abalanzarse sobre el enemigo con el mismo poder de ataque que los guerreros de infantería podían lograr a pie con una espada o una lanza.

Posteriormente, grandes mejoras en las tecnologías de navegación marítima permitieron un aumento vertiginoso de la eficiencia y la velocidad del movimiento, cancelando efectivamente la ventaja previa de las líneas interiores basada en la caballería, de la que disfrutaban pueblos del *heartland*, como los tártaros y los mongoles. Luego, con el advenimiento de la energía de vapor y su aplicación tanto en el transporte por ferrocarril, como el fluvial y marítimo, se tuvo el efecto contra-intuitivo de acelerar inicialmente esta condición naval dominante, ya que los primeros ferrocarriles de corto alcance y barcos de vapor fluviales simplemente alimentaban bienes y suministros que hasta ahora eran inaccesibles en puertos costeros para el comercio oceánico. Sin embargo, a medida que los ferrocarriles crecieron hasta alcanzar un alcance transcontinental, Mackinder (1904) vio que el equilibrio de poder volvía a la tierra, específicamente al *heartland*. Y dado que el desarrollo de la tecnología moderna permitiría, a un imperio basado en el *heartland*, conquistar otras potencias terrestres y luego abrumar a las potencias marítimas, “los Estados de Europa occidental deberían necesariamente oponerse a cualquier actor que intentara organizar los recursos de Europa del este y del propio *heartland*” (Mackinder, 1962, p. 139). En pocas palabras, lo que Mackinder intentó transmitir con su teoría fue el vínculo inextricable entre la supremacía marítima británica y el equilibrio de poder europeo.

La cosmovisión de Mackinder dividió el mundo en tres regiones principales (Álvarez, et al., 2018): el núcleo vital euroasiático que comprendía el *heartland* o área pivote; la media luna interior formada por las

regiones marginales alrededor de la periferia del *heartland* (incluyendo Europa occidental, Medio Oriente, subcontinente indio y la mayor parte de China) y, la media luna exterior, conformada por aquellas regiones separadas por agua del *heartland* y la media luna interior (incluyendo todo el hemisferio occidental, Gran Bretaña, Japón y Australia). Sin embargo, como lo indicó Mackinder, la media luna interior era solo un área pasiva por la que luchaban el poder marítimo y el *heartland*. Su importancia radicaba solo en que, al controlar esta área, el poder marítimo podría evitar que el poder del *heartland* organizara todo el continente euroasiático en una sola unidad. Dentro del marco de Mackinder, la media luna interior era subsidiaria tanto para el *heartland* como para la media luna exterior, y el estado subsidiario de la media luna interior correspondía bastante a la centralidad del conflicto entre el poder marítimo y el *heartland*. Es en este sentido que el cambio del estado de la media luna interior conduciría naturalmente al cambio de la importancia del conflicto entre el poder marítimo y el *heartland*.

Al igual que Mackinder, Spykman (1942) creía que la primera línea de defensa de Estados Unidos radicaba en la preservación de un equilibrio de poder tanto en Europa como en el este de Asia. Como Spykman indicó, la posición de Estados Unidos frente a Europa y el este de Asia era geopolíticamente similar a la posición de Gran Bretaña frente al continente europeo. Por tanto, los estadounidenses tenían un interés invertido en la preservación de un equilibrio de poder en Europa y Asia Oriental, ya que los británicos por su parte, tenían un interés en el equilibrio continental europeo. Basado en esta equivalencia geopolítica, Spykman (1942, p. 457) argumentó que “un equilibrio de poder en las zonas transatlánticas y transpacíficas es un prerrequisito absoluto para la independencia del Nuevo Mundo y la preservación de la posición de poder de los Estados Unidos. No hay una posición defensiva segura en este lado de los océanos”.

Spykman (1942, p. 183) advirtió inequívocamente que “si la alianza germano-japonesa saliera victoriosa de la masa continental de Eurasia y se viera en libre capacidad de orientar toda su fuerza contra el Nuevo Mundo”, Estados Unidos sería confrontado con un cerco completo

sobre el cual no tendría oportunidad de prevalecer. Para evitar este cerco, Spykman (1944, p. 34) argumentó que:

Nuestra preocupación constante en tiempos de paz debe ser el que ningún Estado o alianza de Estados pueda emerger como una potencia dominante en ninguna de las dos regiones del Viejo Mundo (Europa y Asia Oriental), y en la que nuestra seguridad podría verse amenazada.

A diferencia de Mackinder, Spykman nunca había vinculado explícitamente el equilibrio de poder continental con la supremacía marítima estadounidense; creía que la seguridad y la independencia de Estados Unidos solo se podía preservar mediante una política “que haga imposible que la masa continental de Eurasia albergue un poder dominante abrumador en Europa y el Lejano Oriente” (Spykman, 1944, p. 60).

La teoría de Spykman se ha considerado coherente con la de Mackinder; por tanto, el *rimland* se ha visto como el área que el *heartland* busca controlar, lo que lo pone en conflicto con los poderes marítimos. Según Prescott (1968), la contribución de Spykman radicó solo en señalar el peligro de que el *heartland* tomara el control de esta área, porque daría lugar al cerco estratégico de los Estados Unidos. Sin embargo, esta interpretación de la teoría de Spykman sería incorrecta: el *rimland* y la “media luna interior”, aunque se superponen significativamente, no serían geopolíticamente equivalentes (Álvarez, et al., 2018); más importante aún, el papel de *rimland* en el marco de Spykman sería diferente al de la media luna interior en Mackinder. Además, la forma en que Mackinder entiende el conflicto entre el poder marítimo y el *heartland* difiere fundamentalmente de cómo lo ve Spykman. El principal conflicto en torno al cual se construye el marco geopolítico de Mackinder se produce entre el poder marítimo y el *heartland*; su enfoque primordial está en el cambio de equilibrio de poder entre ellos, lo que se explica por las nuevas tecnologías que presentan igualmente nuevas oportunidades para el potencial de poder de aquellos geográficamente dispuestos a explotarlos.

De importancia clave en el marco de Mackinder es el concepto del corazón, un área central sin litoral que incluye Rusia, Europa del Este,

Mongolia y el Tíbet. El corazón es el núcleo de una unidad más grande, la masa continental de Eurasia, que es demográficamente superior y tiene una base de recursos más grande que cualquier otra unidad geográfica. El papel dominante de Gran Bretaña como potencia marítima, argumentó Mackinder (1962), se basó en el feliz accidente de que el continente europeo históricamente había permanecido dividido y, en consecuencia, nunca hubo una potencia terrestre lo suficientemente fuerte como para construir una flota que amenazara a Gran Bretaña. Sin embargo, todo esto había cambiado con los desarrollos geopolíticos; el aumento de la población y el transporte terrestre avanzado, como los ferrocarriles, amenazaron con alterar el equilibrio entre el poder marítimo y el *heartland*. Con esos desarrollos, el poder del *heartland* podría expandirse hacia afuera y controlar las áreas litorales euroasiáticas; entonces, tendría acceso al mar de manera amplia con una base de recursos superior. La lógica de Mackinder es simple y clara: dado que la Isla Mundial podría controlarse desde el *heartland*, se dedujo que un poder terrestre que controlara el *heartland* estaría en condiciones de dominar la Isla Mundial, que a su vez podría usarse como una base rica en recursos desde la cual construir una flota para dar el golpe final a los poderes del mar. Fue esta posibilidad la que puso a las potencias marítimas en conflicto con el contendiente euroasiático con base en el *heartland* (Gray, 1988). Este es el conflicto central que anima la geopolítica de Mackinder.

Spykman también creía que el súper continente (la isla del mundo en la terminología de Mackinder), comprendía tanto el *heartland* como la media luna marginal interior, como lo identificó Mackinder. Sin embargo, Spykman (1944) revisó las categorías geopolíticas utilizadas por Mackinder: La media luna interior y las costas se unieron en una categoría denominada *rimland*, que está unida por la cadena de mares marginales que la separa de los océanos; y la media luna externa se reemplaza por los continentes en alta mar, aunque Gran Bretaña y Japón están excluidos de esta categoría y se ven como islas en alta mar. Para Mackinder, la media luna interna es subsidiaria tanto del *heartland* como de la media luna externa; empero, para Spykman, el motor principal del poder en la

política mundial reside en el *rimland*, no en el aislado *heartland*. Como Spykman (1944, p. 51) argumentó:

Las luchas de poder en la historia siempre se han librado en referencia a las relaciones entre el *heartland* y *rimland*; la consternación de poder dentro del mismo *rimland*; la influencia de la presencia marítima en el litoral; y finalmente, la participación en esa presencia ejercida por el hemisferio occidental.

En otras palabras, el *rimland* nunca fue un área pasiva intercalada entre el *heartland* y el poder marítimo, como lo designó Mackinder; por el contrario, estaba compuesto por actores geopolíticos que a menudo se oponían tanto al *heartland* como al poder marítimo. En el marco de Spykman, el *rimland* no es solo una participación primaria de activos en los juegos eternos de los Estados, sino también la principal fuente de fortaleza en la política internacional. Si bien Spykman aceptaba la existencia de los conflictos históricos entre el poder marítimo y el *heartland*, negó que este fuese el tema principal:

Nunca ha habido realmente una simple oposición entre el poder terrestre y el marítimo. La alineación histórica siempre ha sido en términos de algunos miembros del *rimland* con Gran Bretaña contra algunos miembros del *rimland* con Rusia, o Gran Bretaña y Rusia juntos contra un poder dominante del *rimland*. (Spykman, 1944, p. 43)

Todos los marcos geopolíticos buscan indicar los patrones recurrentes de conflictos en la política mundial. En el marco de Mackinder, solo hay un conflicto: el que existe entre el poder marítimo y el *heartland*. En el marco de Spykman, sin embargo, hay dos: entre el poder marítimo y el *heartland* con el *rimland* dividido entre ellos; y entre un poder del *rimland* contra el poder marítimo y el *heartland*. Según Gerace (1991), el patrón que prevalece dependería de la distribución del poder al interior del *rimland*. Esta diferencia no solo distinguió el marco geopolítico de Spykman del de Mackinder, sino que también condujo a la divergencia entre Spykman y Mackinder sobre el carácter estratégico del *heartland*. Para Spykman, es el *rimland*, no el *heartland*, el que presenta el peligro

de cercar a Estados Unidos, y solo fue posible con el surgimiento de poderes dominantes dentro del *rimland* como la Alemania nazi y el Japón imperial. Si bien los poderes del eje de *rimland* dejarían a Estados Unidos cercado, también rodearían a la Unión Soviética, porque el éxito alemán-japonés en la Segunda Guerra Mundial habría empujado a la Unión Soviética detrás del lago Baikal o incluso los Urales.

En el marco de Spykman, a veces el *rimland* se divide entre los poderes del mar y el *heartland*, y a veces ambos están aliados contra el *rimland*. Este dualismo básico también cambia el carácter del poder del *heartland*. Para Mackinder, Rusia como potencia central fue designada como la adversaria natural de las potencias marítimas⁵⁷. Por su parte, para Spykman el dualismo del *rimland* significaba que el carácter de Rusia como el poder del *heartland* también era dualista. Según Spykman (1944), como sucesor directo de los pueblos nómadas del *heartland*, la posición central de Rusia le permitió aplicar una enorme presión sobre esas naciones periféricas por la amenaza real o potencial de expansión territorial. Sin embargo, mientras Rusia no tuviera la intención de establecer alguna forma de hegemonía sobre esas naciones periféricas, entonces también era la base más efectiva para preservar la paz en el continente euroasiático. En definitiva, la principal contribución de Spykman fue que enfatizó en que las alineaciones históricas de los siglos XIX y XX no habían sido de la forma en que Mackinder los había imaginado. Cada una de las grandes luchas de los siglos XIX y XX, contra la Francia napoleónica, y luego contra la Alemania imperial y nazi, vio al poder marítimo británico (más el estadounidense en el siglo XX), aliados con el poder ruso contra un poder hegemónico en el *rimland*.

57 El punto de vista de Mackinder sobre Rusia como poder continental del *heartland* había cambiado significativamente en la última etapa de su carrera. En su versión de 1943 de la teoría del *heartland*, Mackinder había señalado la posibilidad de que la cooperación de la posguerra entre las potencias marítimas y el poder del *heartland* (la Unión Soviética) podría llegar a constituirse como un baluarte efectivo contra el renacimiento del militarismo alemán.

2.1.3. *Teoría del poder aéreo de Douhet, Mitchell, De Seversky y Warden*

H.G. Wells fue uno de los primeros en reconocer la próxima revolución en la doctrina y tácticas militares con la llegada del motor de combustión y el automóvil, y fue capaz de influir fuertemente en la estrategia británica antes de la Primera Guerra Mundial. Wells (1902) se convirtió en el primer defensor del cambio geoestratégico del siglo XX debido a la llegada de una nueva tecnología. Muchos otros lo siguieron, la mayoría atraídos por la tecnología aérea. El primero de ellos fue Giulio Douhet, un mariscal del aire italiano que escribió extensamente sobre la revolución del poder aéreo en la guerra moderna; aunque su visión era de largo alcance, ni siquiera él reconoció el impacto total de esta nueva dimensión en el campo de batalla.

Douhet (1942) sintió a principios del siglo XX que las teorías de Mackinder habían quedado rápidamente obsoletas, ya que no tuvieron en cuenta la creciente influencia del poder aéreo. A pesar de que las características de la superficie de la Tierra (un cambio crítico en la evolución hacia la astropolítica), no obstaculizaban las aeronaves, sí las limitaban en su accionar por críticas rutas de operaciones aéreas⁵⁸, que requerían campos de despegue y aterrizaje ubicados con precisión, así como instalaciones efectivas de mantenimiento y reparación en los principales centros aéreos. Douhet (1942) insistió en que los mapas de guerra deberían retratar estas rutas junto con superposiciones de círculos concéntricos, o arcos de alcance, identificando los rangos operacionales de los aviones desplegados en las bases terrestres. La teoría del poder aéreo de Douhet (1942) era, por decir lo menos, extraña, ya que se centró en misiones ofensivas independientes, algo que los principales pilotos de la Primera Guerra Mundial nunca pudieron entender. Pero comprendía claramente el significado de la tecnología en la guerra y reconoció la revolución que representaría la introducción del avión en el teatro de operaciones⁵⁹.

58 Douhet identificó tres de estas rutas aéreas para Italia: una a lo largo del valle del Po y dos más a lo largo de las costas este y oeste de la península italiana.

59 Directamente relacionada con el avión había otra nueva tecnología: gas venenoso. Douhet (1942) entendió cómo estas dos tecnologías, municiones y vehículos de entrega, podrían revolucionar la guerra;

Douhet escribió la mayoría de sus textos después de que cesaron las hostilidades de la Primera Guerra Mundial, pero los teóricos del poder aéreo estudiaron sus obras durante el periodo de entreguerras, influenciando fuertemente las doctrinas de las primeras fuerzas aéreas del mundo al comienzo de la Segunda Guerra Mundial; Sir Hugh Trenchard (Jefe de Estado Mayor de la Real Fuerza Aérea Británica) y el General Billy Mitchell (General del Cuerpo Aéreo del Ejército de los Estados Unidos), compartían la optimista creencia de Douhet (1942) de que la fuerza aérea podría volver obsoleta la sangrienta guerra de trincheras de la Primera Guerra Mundial (Álvarez, et al., 2017a). También consideraban que la fuerza aérea debería ser un servicio independiente y que el bombardeo estratégico era una capacidad esencial del poder aéreo. Douhet (1942) igualmente argumentó que los ataques ofensivos deberían dirigirse en última instancia a los centros de población civil, ya que suponía que todas las guerras futuras serían guerras totales: “(...) todos sus ciudadanos se convertirán en combatientes, ya que todos estarán expuestos a las ofensivas aéreas del enemigo. Ya no habrá distinción entre soldados y civiles” (pp.6-7). La escala y la gravedad de la Primera Guerra Mundial tuvieron un profundo impacto en Douhet y la población europea en general, por lo que estaban a favor de cualquier acción que prometiera acortar el próximo conflicto.

El as ruso de la Primera Guerra Mundial, Alexander De Seversky, también fue un importante teórico del poder aéreo. De Seversky (1941) creía, como Mitchell, que el poder aéreo constituía la forma preeminente de guerra, y que éste debía constituirse en la columna vertebral de la defensa estratégica de Estados Unidos⁶⁰. Mitchell (1925) también aceptó la opinión de Douhet de que las bases aéreas representaban centros vitales de operaciones militares, y creía que su papel era extender la teoría a la

y aunque las fuerzas aéreas eran reacias a usar gas venenoso después de la Primera Guerra Mundial, sus teorías se transfirieron bien al uso de un tipo de artillería aún más devastador durante la Segunda Guerra Mundial.

60 En 1917, fue enviado a Estados Unidos como enlace con la misión naval rusa y, cuando el gobierno bolchevique llegó al poder en Rusia poco después, eligió permanecer en Estados Unidos. En 1927, recibió una comisión como comandante en las reservas del Cuerpo Aéreo de los Estados Unidos. Cuatro años más tarde, fundó la Seversky Aircraft Corporation, donde diseñó y produjo varios aviones a lo largo de la década de 1930, entre ellos el primer bombardero totalmente automático.

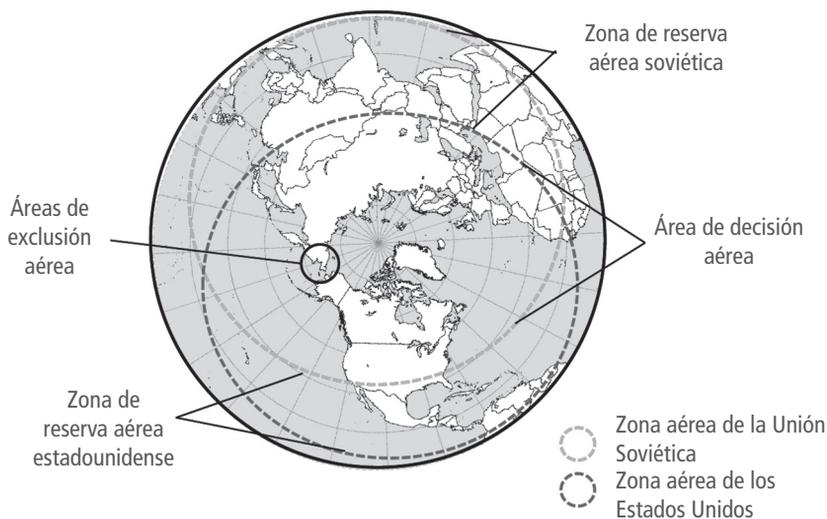
práctica. Mitchell profesó que, en la nueva era aérea, Alaska había superado a Panamá como un enfoque estratégico para Estados Unidos, ya que los aviones con base en esta región podrían maximizar su radio de acción contra enemigos potenciales. Al igual que Douhet, De Seversky consideraba que la tercera dimensión del campo de batalla permitía a una fuerza aérea amiga sobrevolar las fuerzas convencionales del enemigo y atacar su infraestructura clave desde el principio. Una diferencia entre las teorías de Douhet y De Seversky fue que mientras Douhet subrayaba continuamente la importancia del comando del aire para permitir las operaciones aéreas, De Seversky (1942) enfatizaba el valor de la superioridad aérea para las operaciones terrestres. Durante los años de entreguerras, el valor del poder aéreo como capacidad estratégica recibió gran atención, pero De Seversky reconoció su uso como habilitador táctico de las fuerzas terrestres y marítimas. La integración alemana de componentes aéreos y terrestres durante la invasión de Polonia en 1939 fue un claro ejemplo de integración efectiva; sin embargo, ayudó que Polonia tuviera una débil fuerza aérea y prácticamente ninguna defensa aérea, por lo que las fuerzas militares nazis pudieron operar con impunidad. Con el mismo ejército apoyado por la misma Luftwaffe, Alemania logró, hasta cierto punto, el mismo éxito en su avance hacia el oeste en 1940.

De Seversky (1942), como Douhet (1942), visualizó el epítome del poder aéreo en la forma de un bombardero de largo alcance capaz de defenderse. Reconociendo las limitaciones aerodinámicas y de ingeniería de la época, describió las características de dicho avión: superficies de control dinámico capaces de compensar el daño de batalla, combustibles de seguridad capaces de resistir proyectiles incendiarios, armas defensivas controladas a distancia y motores sin hélice. Por otra parte, las capacidades ofensivas de la aviación siempre han sido populares entre los teóricos del poder aéreo, pero De Seversky fue uno de los primeros en abordar en detalle la amenaza recíproca de ataque aéreo por parte de un enemigo.

Por todas las razones por las que Estados Unidos debía atacar los centros industriales de Alemania y Japón en la Segunda Guerra Mundial, De Seversky (1942) argumentó que las potencias del eje también estaban en la capacidad de acometer un ataque aéreo contra el territorio conti-

mental de Estados Unidos. Su solución fue la superposición de rangos de operación concéntricos para diferentes tipos de aviones interceptores y de persecución. Nuevamente, antes de su tiempo, sus teorías serían ampliamente aceptadas e implementadas en la doctrina a medida que la tecnología avanzaba. Fue el primer geoestratégico en usar un mapa equidistante azimutal (una vista polar que limitaba las distorsiones de las proyecciones tradicionales de Mercator), para mostrar cuán físicamente cerca estaba la masa continental euroasiática de América del Norte (figura 1). Al dibujar arcos de alcance aéreo sobre Estados Unidos y la Unión Soviética, identificó regiones no disputadas como áreas de reserva estratégica y regiones de superposición como áreas de decisión. La influencia de De Seversky (1951) fue ampliamente persuasiva, y se convirtió en la base política para la construcción en el norte de Canadá y Alaska de la línea de radar DEW (Advertencia de Defensa Temprana), para monitorear las fuerzas estratégicas de la ex Unión Soviética. En definitiva, el aporte de De Seversky (1942; 1951) moldeó la doctrina del poder aéreo y la dirección de la tecnología aeroespacial en los años venideros.

Figura 1. Zonas aéreas de la Guerra Fría



Fuente: Elaboración propia con base en De Seversky (1951)

El coronel John Warden desarrolló sus teorías del poder aéreo a lo largo de su carrera de 30 años en la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Concibió, empleó y refinó sus teorías en las décadas de 1980 y 1990, a medida que la fuerza aérea de su país se adaptaba al final de la Guerra Fría y buscaba poner en práctica los avances en tecnología sigilosa y las municiones guiadas con precisión. Las teorías de Warden (1998) sobre la guerra son muy apreciadas por los profesionales del poder aéreo en la actualidad y proporcionan una base doctrinal probada para campañas aéreas contra adversarios convencionales en guerras limitadas. En 1986, con el apoyo del War College, Warden (1998) publicó el primer libro para abordar la guerra aérea a nivel operativo desde la Segunda Guerra Mundial; enfatizó en la importancia de la superioridad aérea e ilustró algunos de los principios clásicos de la guerra a través de ejemplos históricos y escenarios hipotéticos.

Sin embargo, los avances en la tecnología sigilosa y las municiones guiadas con precisión, marcarían un diferenciador de sus teorías con respecto a las desarrolladas en la primera mitad del siglo XX. Warden presagiaba la capacidad de estas nuevas tecnologías para revolucionar la guerra aérea, si se empleaban de manera efectiva. Cuando Iraq invadió Kuwait en 1990, Warden era un planificador senior en el Pentágono y aprovechó los principios de su libro para diseñar una campaña aérea decisiva que obligó a la retirada del ejército iraquí de Kuwait; el plan de campaña de Warden (1998), acuñado como Operation Instant Thunder, se basó en un uso masivo y ofensivo del poder aéreo para paralizar al régimen iraquí y su liderazgo. Warden creía que el poder aéreo tenía el potencial por sí solo de ser decisivo en la batalla, por lo que en lugar de apoyar a las fuerzas terrestres (como se suponía en la doctrina convencional), la operación Instant Thunder abogó por una campaña aérea a corto plazo que pudiera ejecutarse independientemente de las fuerzas terrestres y que fuera de naturaleza estratégica.

Se basó en lo que Warden (1995) denominó el “Modelo de los Cinco Anillos”, y se centró en los ataques basados en efectos, dirigidos a centros de gravedad estratégicos y no a las fuerzas enemigas desplegadas. La teoría de los cinco anillos de Warden (1995) se basa en los principios de

la campaña aérea, comparando al enemigo con un cuerpo humano para demostrar la naturaleza interconectada de los distintos centros de gravedad del adversario. Ilustró este concepto con una imagen compuesta de cinco anillos concéntricos, en la que cada anillo representaba un componente esencial dentro del sistema general, muy parecido a un órgano en un cuerpo. El anillo central denotaba el liderazgo del enemigo, y los anillos posteriores comprendían elementos esenciales como infraestructura, población y capacidades militares desplegadas. Bajo la propuesta de Warden (1995), todos los anillos representan sistemas interconectados que, atacados simultáneamente, debilitarían a un adversario. Al interpretarse como un mapa, el modelo de cinco anillos ayudaría a iluminar un beneficio único del poder aéreo: el ejército desplegado no necesitaba ser destruido para asegurar la victoria.

Históricamente, los ejércitos atacaron a las fuerzas enemigas al comienzo del conflicto porque protegían el territorio, la infraestructura, los recursos y el liderazgo de un Estado; pero Warden (1998) consideraba que los ataques precisos y coordinados en los centros de gravedad en todos los anillos crearían más caos y destrucción que un choque de fuerzas con base en tierra que se movía desde el anillo exterior hacia adentro. Desafortunadamente, la utilidad de la teoría de Warden (1998) se rompe cuando se aplica a actores no estatales y a la guerra asimétrica en un conflicto de quinta generación, donde los enemigos no dependen de modelos de liderazgo lineal en el mismo grado que un ejército nacional.

3. Análisis astro-histórico del Universo

Dolman (1999) sugiere que los conceptos clásicos de geopolítica son notablemente transferibles al terreno del espacio exterior, debido a que éste también contaría con una astrografía definible. Con la comprensión de la teoría marítima descrita por Mahan (1890) y Corbett (1911), las teorías continentales presentadas por Mackinder (1962) y Spykman (1944), así como las teorías aéreas expuestas por Douhet (1942), Mitchell (1925), De Seversky (1951) y Warden (1998), es posible extrapolar

y definir una teoría astropolítica para la astroestrategia. No obstante, es importante aclarar que las operaciones marítimas, terrestres y/o aéreas no podrían equipararse a las operaciones espaciales, ya que los factores ambientales, tecnológicos y físicos son definitivamente diferentes. Empero, muchos de sus aspectos estratégicos son similares y, por tanto, se presume que comparten ciertos principios teóricos.

Pero para dar paso a ese análisis, es necesario estudiar primero los parámetros físicos y ambientales del espacio exterior, ya que su comprensión es imprescindible para una evaluación honesta de cualquier región astropolítica. Por tanto, a diferencia de los tres espacios físicos encontrados en la Tierra, el entorno extraterrestre es considerablemente desafiante y hostil a la presencia del ser humano, por lo que a continuación se tratan temas de la astrofísica y la astromecánica, cruciales para la comprensión de las limitaciones y promesas de la actividad humana en ese dominio.

3.1. Teoría del *Big Bang*

La teoría ampliamente aceptada para el origen y la evolución del Universo es la teoría del *Big Bang*, que establece que éste nació como un punto único muy caliente y denso en el espacio, hace aproximadamente 13.700 millones de años (Kragh, 2007). Cabe señalar que el *Big Bang* no fue una explosión en el espacio, como podría sugerir el nombre de la teoría; en cambio, fue la aparición del espacio en todas partes del Universo. cuando el Universo era muy joven, algo así como una centésima de billonésima parte de una billonésima parte de una billonésima de segundo, experimentó un crecimiento increíble (Potter, 2009). Durante este estallido de expansión, que se conoce como “inflación”, el Universo creció exponencialmente y se duplicó en tamaño más de 90 veces. Los elementos químicos ligeros se crearon dentro de los primeros tres minutos de la formación del Universo (Perryman, 2010); después de la inflación y a medida que el Universo se expandió, las temperaturas se enfriaron y los protones y neutrones colisionaron para formar deuterio, que es un isótopo de hidrógeno; y, gran parte de este deuterio se combinó para formar helio.

Sin embargo, durante los primeros 380.000 años después del *Big Bang*, el intenso calor de la creación del Universo lo hizo esencialmente demasiado caliente para que brillara la luz; los átomos se estrellaron con la fuerza suficiente para romperse en un plasma denso y opaco de protones, neutrones y electrones que dispersaron la luz. Entonces, 380.000 años después del *Big Bang*, la materia se enfrió lo suficiente como para que los electrones se combinaran con los núcleos para formar átomos neutros, en una fase conocida como “recombinación”; para aquel momento, la absorción de electrones libres causó que el Universo se volviera transparente (Fox, 2002). La luz que se desencadenó en este momento es detectable hoy en forma de radiación del fondo cósmico de microondas; sin embargo, la era de la recombinación fue seguida por un periodo de oscuridad antes de que se formaran las estrellas y otros objetos brillantes.

Aproximadamente 400 millones de años después del *Big Bang*, el Universo comenzó a salir de su edad oscura; este periodo en su evolución se llama la era de la “reionización”, que en un principio se creyó había durado más de medio billón de años, pero según las nuevas observaciones, puede haber ocurrido más rápidamente de lo que se pensaba anteriormente (Potter, 2009). Durante este tiempo, grupos de gas colapsaron lo suficiente como para formar las primeras estrellas y galaxias, y la luz ultravioleta emitida por estos eventos energéticos se despejó y destruyó la mayor parte del gas de hidrógeno neutro circundante. El proceso de reionización, más la eliminación de niebla de gas de hidrógeno, hicieron que el Universo pasara por primera vez de la transparencia a la luz ultravioleta. Su forma actual se ha determinado a partir de mediciones de la radiación de fondo de microondas utilizando satélites como la sonda WMAP de la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA). Estas observaciones indicarían que la geometría espacial del Universo observable es “plana”, lo que significa que los fotones en trayectos paralelos en un punto permanecen paralelos mientras viajan a través del espacio hasta el límite del Universo observable, a excepción de la gravedad local; por tanto, el Universo plano combinado con la densidad de masa medi-

da y la expansión acelerada, indicaría que el espacio tiene una energía de vacío distinta de cero, la cual se denomina “energía oscura”.

En efecto, en las décadas de 1960 y 1970, los astrónomos comenzaron a pensar que podría haber más masa en el Universo de lo que es visible (Kragh, 2007). Vera Rubin, astrónoma de la Carnegie Institution de Washington, observó la velocidad de las estrellas en varios lugares de las galaxias; la física newtoniana básica establece que las estrellas en las afueras de una galaxia orbitarían más lentamente que las estrellas en el centro, pero Rubin no encontró diferencia en las velocidades de las estrellas más alejadas. De hecho, descubrió que todas las estrellas en una galaxia parecían rodear el centro a más o menos la misma velocidad; y esta masa misteriosa e invisible se hizo conocida como “materia oscura”⁶¹. Se cree que la materia oscura constituiría el 23% del Universo; en comparación, solo el 4% estaría compuesto de materia regular, que abarca estrellas, planetas y personas (Fox, 2002).

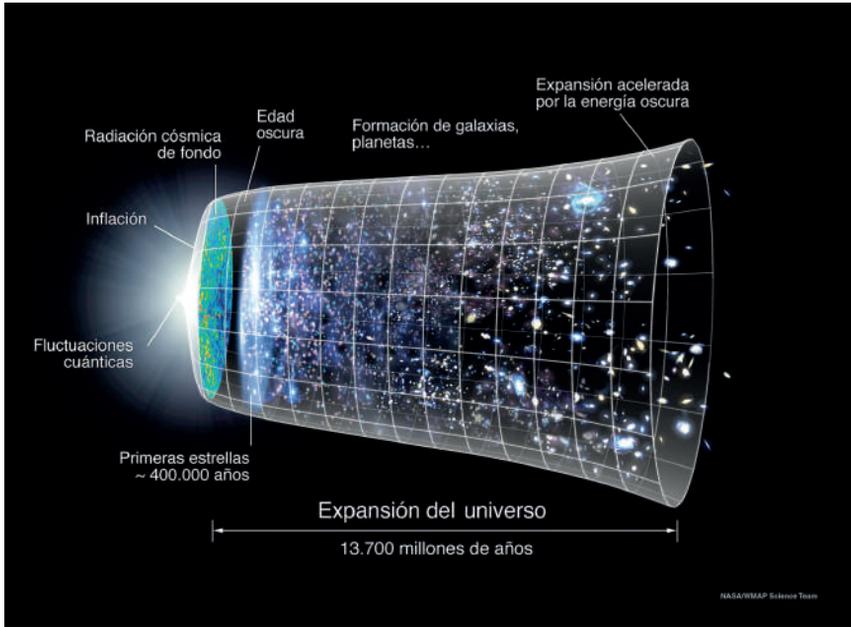
En la década de 1920, el astrónomo Edwin Hubble hizo un descubrimiento revolucionario sobre el Universo, al observar que no es estático, sino que se está expandiendo. Décadas más tarde, en 1998, el telescopio espacial que lleva su nombre (telescopio espacial Hubble), estudió supernovas muy distantes y descubrió que, hace mucho tiempo, el Universo se estaba expandiendo más lentamente a como lo haría en la actualidad. Este descubrimiento fue sorprendente porque durante mucho tiempo se pensó que la gravedad de la materia en el Universo ralentizaría su expansión, o incluso haría que se contrajera.

En este sentido, se cree que la energía oscura⁶² sería la fuerza extraña que está separando el cosmos a velocidades cada vez mayores, aunque permanece sin ser detectada y envuelta en misterio (figura 2); la existencia de esta energía evasiva, que se cree que constituye el 73% del Universo, es uno de los temas más debatidos en cosmología.

61 La materia oscura se infiere debido a la atracción gravitacional que ejerce sobre la materia regular. Una hipótesis establece que las cosas misteriosas podrían estar formadas por partículas exóticas que no interactúan con la luz o la materia regular, por lo que han sido tan difíciles de detectar.

62 La materia oscura produce una fuerza atractiva (gravedad), mientras que la energía oscura produce una fuerza repulsiva (antigravedad).

Figura 2. Evolución del Universo

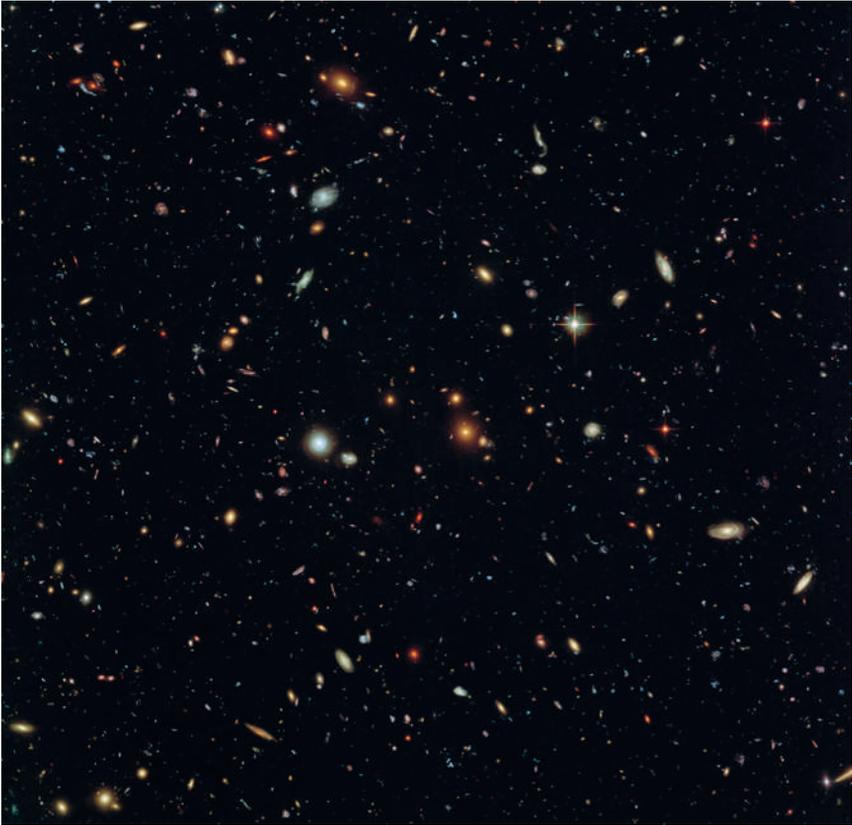


Fuente: NASA/WMAP Science Team

De acuerdo con Perryman (2010), la densidad del Universo no es uniforme, y se pueden encontrar zonas de alta densidad en galaxias, planetas y agujeros negros, en contraste con una baja densidad en zonas con grandes vacíos.

El cielo nocturno está poblado por estrellas y galaxias, y varios miles de ellas son perceptibles a simple vista, e innumerables millones más son reveladas por los telescopios. Desde la década de 1990, y el lanzamiento del telescopio espacial Hubble, el acceso al espacio ha dado una panorámica más aguda del Universo (figura 3).

Figura 3. Miles de Millones de Galaxias



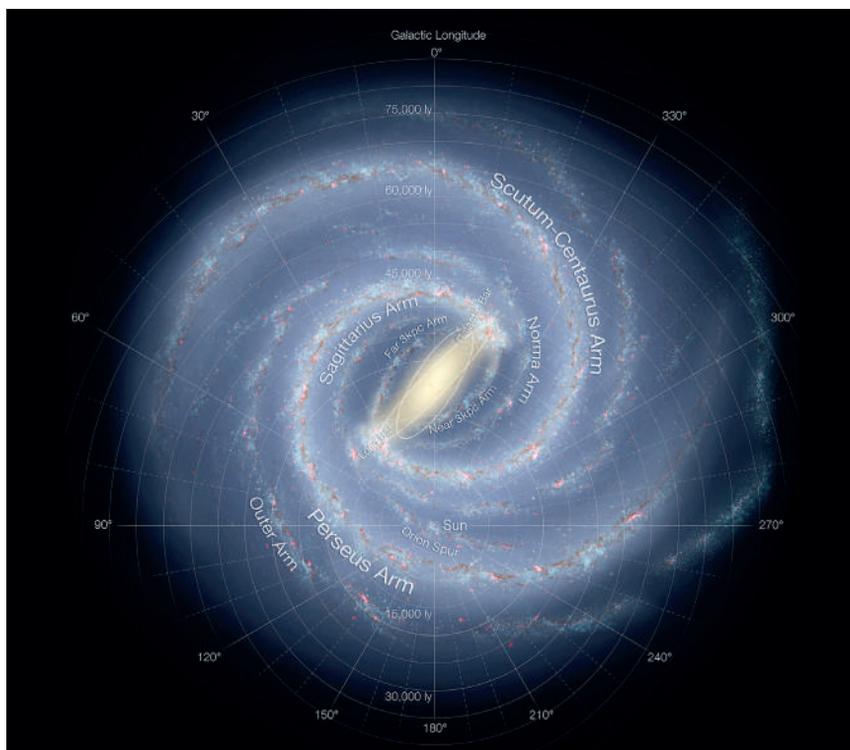
Fuente: NASA/ESA/HST Frontier Fields Team/STScI

El Universo es infinito en extensión y debido a que las distancias involucradas son tan vastas, el normal cálculo humano (kilómetros o millas), pierde significado. Por ende, un criterio conveniente que se utiliza para analizar las distancias estelares es el de “año luz”, es decir, la distancia que la luz puede recorrer en un año; entonces, a 300.000 kilómetros por segundo, equivaldría aproximadamente a 9.46×1.012 kilómetros (9.460.730.472.580.8 kilómetros). Partiendo de lo anterior, hay miles de millones de galaxias⁶³ en el Universo, entre las cuales se encuentra la de

63 Una galaxia es un conjunto de billones de estrellas, nubes de gas, planetas, polvo cósmico, materia

la Vía Láctea (figura 4), que tiene forma de espiral y unos 100.000 años luz de diámetro⁶⁴; la Vía Láctea gira lentamente alrededor del centro galáctico, completando una revolución aproximadamente cada 240 millones de años, por cual los astrónomos piensan que el Sistema Solar tiene unos 20 años cósmicos⁶⁵ (4.800 millones de años terrestres). Las estrellas en la Vía Láctea están muy dispersas, hasta el punto de que la estrella más cercana al Sistema Solar de la Tierra es Proxima Centauri, a 4.22 años luz; en este sentido, a la nave espacial Voyager (que actualmente se mueve a 56.400 kilómetros por hora), le tomaría más de 80.000 años en llegar esa estrella (Sellers. Astore, Giffen y Larson, 2004).

Figura 4. Galaxia de la Vía Láctea



Fuente: <http://www.eso.org/public/images/eso1339e/>

oscura y energía unidos por la gravedad en una estructura más o menos definida.

64 La galaxia más cercana a la Vía Láctea es Andrómeda, a unos 2 millones de años luz de distancia.

65 El tiempo que lleva girar una vez alrededor del centro de la galaxia se llama año cósmico.

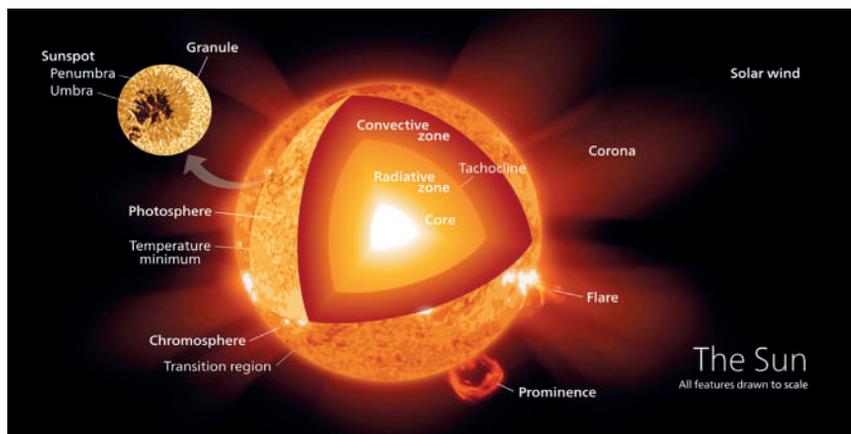
3.2. El Sistema Solar

Se estima que el Sistema Solar del planeta Tierra nació un poco después de 9 mil millones de años luego del *Big Bang*, por lo que tiene aproximadamente 4.6 mil millones de años (Woolfson, 2000). Según las estimaciones actuales, el Sol es una de las más de 300 mil millones de estrellas de la Vía Láctea, y orbita aproximadamente a 25.000 años luz del núcleo galáctico, en uno de los brazos espirales de la galaxia. Muchos científicos piensan que el Sol y el resto del Sistema Solar se formaron a partir de una nube gigante y giratoria de gas y polvo conocida como la nebulosa solar; cuando la gravedad hizo que la nebulosa colapsara, giró más rápidamente y se aplastó en un disco, arrastrando la mayor parte del material hacia el centro para formar el Sol. En este orden de ideas, el Sol es el objeto celeste que mayor efecto tiene en el entorno espacial más cercano a la Tierra. Alimentado por fusión nuclear, el Sol combina o fusiona 600 millones de toneladas de hidrógeno cada segundo⁶⁶ (durante la fusión, el interior del Sol genera más de 1.000.000°C de calor), y al poseer un intenso campo magnético, dispara electrones y protones a velocidades de 300 a 700 kilómetros por segundo, creando una corriente de partículas cargadas conocidas como “viento solar” (Sellers, et al., 2004). Además, ciertas áreas de la superficie solar ocasionalmente estallan en erupciones solares⁶⁷ de partículas cargadas que hacen que todas las bombas nucleares en la Tierra se vean tan sólo como simples armas de fuego (figura 5).

66 A ese ritmo, no se quedará sin hidrógeno durante aproximadamente 5 mil millones de años.

67 Estas erupciones son a veces tan violentas que se extienden a 150 millones de kilómetros hasta la órbita terrestre.

Figura 5. El Sol



Fuente: Kelvinsong <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>

La comprensión moderna de la humanidad con respecto a la visión heliocéntrica del Sistema Solar comenzaría a tomar forma con Nicolás Copérnico (1473-1543), un humanista renacentista y clérigo católico que promovió esta visión en 1543. En efecto, ubicó al Sol en el centro del Sistema Solar y estableció que la Tierra giraba sobre su eje una vez al día, mientras alrededor del Sol una vez al año⁶⁸. Copérnico explicó que un Universo heliocéntrico era más simétrico y coincidía mejor que el modelo geocéntrico de Aristóteles⁶⁹ y Ptolomeo. Además, observó que, con respecto a un espectador ubicado en la Tierra, los planetas ocasio-

68 Copérnico no fue el primer científico en colocar el Sol en el centro del Sistema Solar. En el siglo V a.C., Filoioa, un pitagórico, sugirió que la Tierra giraba sobre su eje una vez al día, mientras giraba alrededor de un fuego central (no el Sol). Según Filoioa, un espectador en la Tierra no podría ver este fuego central porque una “contra-Tierra” bloquearía su vista, protegiendo a la Tierra de la exposición directa al calor. Hacia el 350 a.C. aproximadamente, otro astrónomo griego llamado Aristarco, demostró que el Sol era enormemente más grande que la Tierra. Por tanto, creía que el Sol (y no la Tierra), ocupaban el centro del Universo conocido. Más radicalmente, supuso correctamente que la Tierra giraba diariamente sobre su eje, mientras giraba anualmente alrededor del Sol.

69 Al mirar al cielo, los filósofos griegos como Aristóteles, vieron la perfección. Como el círculo era perfectamente simétrico, los griegos suponían que los caminos de los planetas y las estrellas debían ser circulares. Además, debido a que los dioses debían considerar que la Tierra era de importancia central en el Universo, ésta debía ocupar el centro de la creación, con todo lo demás girando a su alrededor. En este Universo geostático (la Tierra no se mueve), y geocéntrico (centrado en la Tierra), Aristóteles creía que esferas cristalinas sólidas, compuestas de éter, transportaban los cinco planetas conocidos, así como la Luna y el Sol, en caminos circulares alrededor de la Tierra.

nalmente parecían retroceder en sus órbitas mientras se movían contra el fondo de las estrellas fijas (Hoyle, 1962). Si bien Ptolomeo había recurrido a combinaciones complejas de círculos para explicar el movimiento retrógrado⁷⁰, Copérnico explicaría hábilmente que este movimiento era simplemente el efecto del adelantamiento de la Tierra y de otros planetas a medida que todos giraban alrededor del Sol⁷¹.

Sin embargo, el sistema heliocéntrico de Copérnico tenía algunos inconvenientes; por ejemplo, Copérnico no pudo probar que la Tierra se movía y no pudo explicar por qué giraba sobre su eje mientras giraba alrededor del Sol⁷². Además, Copérnico luchó con el problema del “paralaje”, el aparente cambio en la posición de los cuerpos cuando se ve desde diferentes lugares (Hoyle, 1962). Según sus críticos, si la Tierra realmente giraba sobre el Sol, un espectador estacionado en la Tierra debería ver un cambio aparente en la posición de una estrella más cercana con respecto a sus vecinos más distantes. Y como nadie vio este cambio, el sistema centrado en el Sol de Copérnico se presentaba sospechoso. En respuesta, Copérnico especuló que las estrellas debían estar a grandes distancias de la Tierra, pero esas distancias eran demasiado vastas como para que la mayoría de las personas las contemplaran en ese momento, por lo que esta idea también fue ampliamente rechazada.

Debido a estos problemas físicos y religiosos, solo unos pocos estudiosos se atrevieron a adoptar el copernicanismo, ya que, si la Tierra fuera solo otro planeta y los cielos fueran mucho más vastos de lo que se

70 La astronomía en el mundo antiguo alcanzó su pico de refinamiento en aproximadamente 140 d.C. con Ptolomeo. Siguiendo la tradición griega, Ptolomeo calculó las órbitas del Sol, la Luna y los planetas utilizando combinaciones complejas de círculos. Estas combinaciones, conocidas como excéntricas, epiciclos y equivalentes, no estaban destinadas a representar la realidad física, sino que simplemente eran dispositivos para calcular y predecir el movimiento.

71 Eventualmente, el modelo geocéntrico de Aristóteles y Ptolomeo del Universo dominaría la astronomía durante 2.000 años. No obstante, la astronomía avanzaría durante la Edad Media, destacándose las contribuciones de los árabes, quienes perfeccionaron el astrolabio, un instrumento de observación utilizado para trazar el curso de las estrellas y ayudar a los viajeros en la navegación. Sus observaciones, recogidas en las tablas toledanas, formaron la base de las Tablas Alfonsinas utilizadas para los cálculos astronómicos en Occidente, desde el siglo XIII hasta mediados del siglo XVI. Además, los números arábigos, combinados con el concepto hindú del “cero”, reemplazaron los números romanos, y junto con los avances árabes en trigonometría, este nuevo sistema de numeración mejoró enormemente la astronomía computacional.

72 También se adhirió a la tradición griega de que las órbitas siguen círculos uniformes, por lo que su geometría era casi tan compleja y físicamente errónea como la de Ptolomeo.

creía anteriormente, entonces tal vez un número infinito de planetas habitados orbitaban un número infinito de soles, y tal vez los cielos mismos fueran infinitos (Kragh, 2007). Giordano Bruno (1548-1600) promovió estos puntos de vista, pero debido a sus opiniones religiosas poco ortodoxas, fue quemado en la hoguera en 1600⁷³; pero eventualmente, otros intrépidos exploradores compartirían su visión, como fue el caso de Tycho Brahe (1546-1601), quien a partir de sus observaciones de la supernova de 1572 y el cometa de 1577, calculó que la nova estaba mucho más allá de la esfera de la Luna y que la órbita del cometa se cruzaba con la de los planetas. Por ello, concluyó que el cambio ocurre en el reino supra-lunar y que las esferas cristalinas sólidas no existían en el espacio. En cierto sentido, destruyó la teoría de las esferas sólidas de Aristóteles, concluyendo que el espacio era imperfecto y vacío, excepto el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas. Aunque los hallazgos de Brahe fueron revolucionarios, no pudo abrazar el modelo copernicano del Sistema Solar; por el contrario, mantuvo la Tierra en un modelo geo-heliocéntrico complejo del Universo⁷⁴.

Brahe no aprovechó al máximo sus nuevas observaciones más precisas, debido en parte a que no era un experto matemático. Pero Johannes Kepler (1571-1630) sí era un gran matemático y comenzaría a trabajar con Brahe en 1600. Si bien la colaboración entre los dos sería de corta duración (ya que Brahe murió en 1601), Brahe desafió a Kepler a calcular la órbita de Marte. La elección de Marte por parte Brahe fue afortunada, ya que, de los seis planetas conocidos hasta entonces, Marte tenía la segunda órbita más excéntrica⁷⁵ (después de Mercurio). Cuando Kepler comenzó a estudiar detenidamente las observaciones de Brahe sobre Marte, encontró una discrepancia inquietante (Hoyle, 1962): la órbita de Marte no era circular, ya que calculó una diferencia constante

73 Irónicamente, la visión de Bruno de un número infinito de mundos habitados que ocupan un Universo infinito, derivaba de su creencia de que un Dios omnipotente no podría crear nada menos.

74 En este modelo, la Luna y el Sol giraban sobre la Tierra, y todo lo demás giraba sobre el Sol. Muchos eruditos que no podían aceptar el copernicanismo, como los jesuitas, adoptaron el sistema de Brahe.

75 Excéntrica significa “descentrado”, y la excentricidad describe la desviación de una forma de un círculo perfecto. Un círculo tiene una excentricidad de cero, y una elipse tiene una excentricidad entre cero y uno.

de ocho minutos de arco⁷⁶, entre lo que esperaba para una órbita circular y las observaciones de Brahe.

Como resultado, Kepler llegó a la idea de que los planetas se movían alrededor del Sol en órbitas elípticas, con el Sol no en el centro, sino en un foco. Confiado en sus propias habilidades matemáticas y en los datos de Brahe, Kepler codificó las órbitas planetarias en las famosas leyes del movimiento orbital, las cuales estipulan que (Bate, Mueller y White, 1971): 1) los planetas se mueven en órbitas elípticas con el Sol en un foco; 2) la línea que une un planeta al Sol barre áreas iguales en tiempos iguales y 3) el cuadrado del periodo orbital es proporcional al cubo de la distancia promedio del Sol (eje semi-mayor). Por último, Kepler también usaría su imaginación para explorar el espacio, “viajando” a la constelación de Orión en un intento de demostrar que el Universo era finito⁷⁷. En 1608 escribió un relato ficticio de un viaje a la Luna que se publicó póstumamente en 1634; en el *Somnium*⁷⁸, Kepler viaja mentalmente a la Luna con la ayuda de la magia, donde descubre que es un lugar inhóspito habitado por criaturas especialmente adaptadas.

Hasta la época de Kepler, los esfuerzos de la humanidad por explorar el Sistema Solar habían estado limitados a la vista humana. Pero en 1609, Galileo Galilei (1564-1642) se enteró de un nuevo dispositivo óptico que podía ampliar los objetos para que parecieran estar más cerca y más brillantes de lo que se veían a simple vista; al construir un telescopio que podría ampliar una imagen 20 veces, Galileo daría comienzo a una nueva era de exploración espacial (MacLachlan, 1997). Gracias a este nuevo instrumento óptico, hizo sorprendentes observaciones de la Luna, los planetas y las estrellas; por ejemplo, al observar la Luna, Galileo notó que se parecía notablemente a la superficie de la Tierra, con montañas, valles, canales y mares; y mirando al Sol, descubrió manchas solares.

Estas observaciones refutaron la afirmación de Aristóteles de que la Luna y el Sol eran perfectos y completamente diferentes de la Tierra. Así

76 Si se dibujara un círculo y se dividiera en 360 partes iguales, el ángulo descrito sería un grado; si luego se divide cada grado en 60 partes iguales, se obtendrá un minuto de arco.

77 La armonía y la proporción eran todo para Kepler, y un Universo infinito parecía carecer de ambas.

78 El *Somnium* de Kepler eventualmente inspiraría a otros autores a explorar el espacio a través de la ficción imaginativa, incluidos Jules Verne y H.G. Wells.

mismo, al observar los planetas, Galileo notó que Júpiter tenía cuatro lunas o satélites⁷⁹ que giraban a su alrededor; estas lunas jovianas refutaron la afirmación de Aristóteles de que todo giraba en torno a la Tierra. Mientras tanto, el hecho de que Venus exhibiera fases como la Luna implicaba que orbitaba el Sol, y no la Tierra. Al observar las estrellas, Galileo también resolvió el misterio de la “leche” de la Vía Láctea, explicando que ésta se debía al resplandor de innumerables estrellas débiles que el desnudo ojo humano por sí solo no podía resolver; notó además que su telescopio no magnificaba las estrellas, lo que parecía confirmar la suposición de Copérnico sobre la vasta distancia que existía entre las estrellas y la Tierra. (MacLachlan, 1997)

Para completar la revolución astronómica de Copérnico, Brahe, Kepler y Galileo; Isaac Newton (1642-1727) inventaría el cálculo y desarrollaría su ley de gravitación en 1665. Adicionalmente, al extender el innovador trabajo de dinámica de Galileo, Newton publicó sus tres leyes del movimiento y la ley de la gravitación universal en 1687. Con estas leyes se podía explicar y predecir el movimiento, no solo en la Tierra, sino también de las mareas, cometas, lunas y planetas; en otras palabras, del movimiento en todas partes. El aporte científico de Newton ayudó a inspirar la Ilustración del siglo XVIII, una época en la que los filósofos creían que el Universo era completamente racional y comprensible. (Christianson, 2005)

Motivado por esta creencia “ilustrada”, William Herschel (1738-1822) descubriría accidentalmente a Urano en 1781; y mientras los astrónomos estudiaban este planeta, notaron que su órbita se “tambaleaba” ligeramente. Ello conduciría a John Couch Adams (1819-1892) y Urbain Leverrier (1811-1877) a usar este bamboleo, conocido como “perturbación orbital”, para calcular la ubicación de un nuevo planeta que, obedeciendo la Ley de Gravedad de Newton, causaría el bamboleo (Hoyle, 1962); por ende, observando las coordenadas especificadas, los astrónomos del observatorio de Berlín ubicarían eventualmente al planeta Neptuno en 1846.

79 Una palabra que Kepler acuñó en 1611.

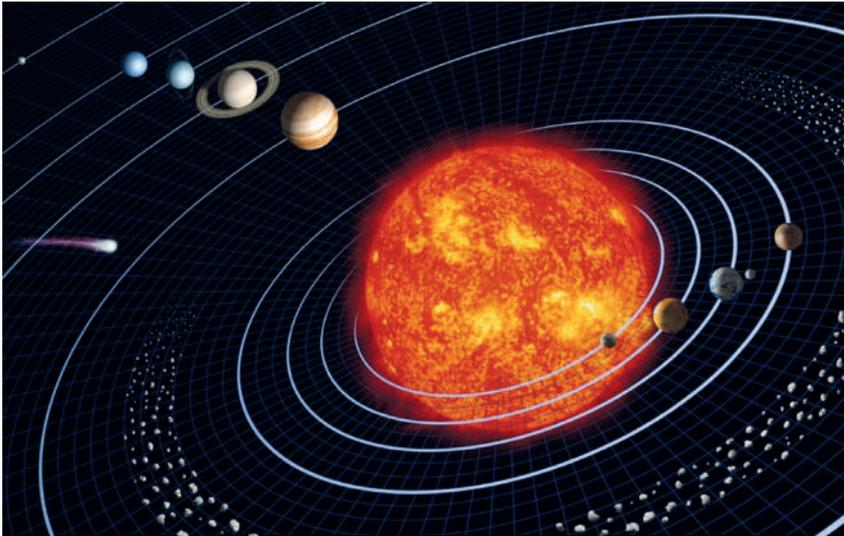
Por ello, desde la época de Newton, se entendería mejor la estructura básica del Sistema Solar y las leyes que rigen los movimientos de los cuerpos celestes dentro del Universo (Woolfson, 2000). Es decir, con relación a la mecánica orbital del Sistema Solar, se entiende que el Sol, el cual contiene la mayor parte de la masa del sistema (99,75%)⁸⁰, tiene una familia de planetas asistentes en órbitas más o menos circulares a su alrededor; a su vez, algunos de los planetas tienen satélites acompañantes o lunas. Por ende, además de la estrella del Sol, existen ocho planetas, docenas de lunas, miles de asteroides y un número indeterminado de cometas⁸¹ en el Sistema Solar (figura 6). Los planetas van desde los pequeños de clase terrestre como Mercurio, Venus, Tierra y Marte, hasta los gigantes gaseosos como Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno; Plutón, que se encuentra en el borde del Sistema Solar (y que podría haber sido una luna perdida de Neptuno), es considerado como un planeta enano⁸², desde 2006.

80 Albert Einstein (1879-1955) revolucionó la física con sus conceptos de relatividad, el continuo espacio-tiempo y su famosa ecuación $E=mc^2$, que mostró la equivalencia de masa y energía relacionadas por una constante: la velocidad de la luz. Combinado con el descubrimiento de la radiactividad en 1896 por Henri Becquerel (1852-1908), la ecuación de Einstein explica en términos generales el funcionamiento interno del Sol.

81 Hasta julio de 2018, había 6.339 cometas conocidos; empero, este número representaría solo una pequeña fracción de la población potencial total de cometas, ya que el reservorio de cuerpos similares a cometas en el exterior del Sistema Solar (en la nube de Oort), se estimaría en un trillón de cometas.

82 Un planeta enano es el término creado por la Unión Astronómica Internacional (UAI) en su resolución del 24 de agosto de 2006, para definir a una nueva clase de cuerpos celestes diferentes de la de planeta. Según la UAI, un planeta enano es aquel cuerpo celeste que: 1) está en órbita alrededor de una estrella (Sol); 2) tiene suficiente masa para que su propia gravedad haya superado la fuerza de cuerpo rígido, de manera que adquiera un equilibrio hidrostático (forma casi esférica); 3) no es un satélite de un planeta u otro cuerpo no estelar y 4) no ha limpiado la vecindad de su órbita.

Figura 6. El Sistema Solar



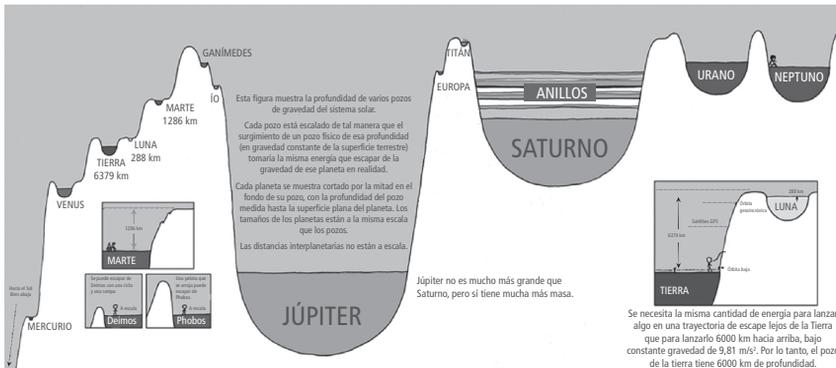
Fuente: http://prometheus.jpl.nasa.gov/contentImages/solar_sys_br.jpg

3.3. Principales datos astrográficos

3.3.1. Gravedad

Como la gravedad es, sin duda, la fuerza dominante que da forma al contexto material del espacio exterior, especialmente aquellas áreas que rodean los objetos celestes, el Sistema Solar podría llegar a considerarse como un lugar geográfico parecido a la Tierra, ya que contiene, en clave geopolítica, una serie de colinas, valles y pozos profundos, más poderosos y consecuentes que quizás cualquier cima de montaña o cañón en la Tierra. Un campo gravitacional que rodea un cuerpo en el espacio se denomina “pozo gravitatorio”, y cuanto más masivo es el cuerpo (como el Sol), más intensa y mayor es la extensión del pozo gravitatorio asociada con él; en contraste, los pozos de gravedad de cuerpos menos masivos como asteroides y pequeñas lunas son más superficiales (figura 7).

Figura 7. Pozos gravitatorios del Sistema Solar



Fuente: Adaptada de <https://xkcd.com/>

Cualquier cosa en la superficie de un planeta o luna se considera que está en la parte inferior del pozo gravitatorio de ese cuerpo celeste, por lo que cuanto más profundo es un pozo de gravedad, más energía se debe usar para escalarlo y alcanzar la velocidad de escape que hace posible acceder al espacio exterior.

Por ende, el pozo gravitatorio de la Tierra (o el área espacial donde la atracción gravitacional de la Tierra es abrumadoramente dominante), ha creado autopistas de alta velocidad alrededor del Planeta (órbitas terrestres), pero también ha hecho que viajar al espacio sea muy oneroso, ya que la mayor parte de la energía requerida para llegar a algún lugar en el espacio exterior se gasta en las primeras etapas del intento de escapar de la atracción gravitacional de la Tierra.

Aunque el espacio orbital es mucho mayor que el volumen total de la atmósfera, el aumento posible de la velocidad debido a la falta de fricción significaría que la distancia está comprimida (Rafie, 2005); por tanto, el viaje al espacio exterior representaría una disminución en la “distancia efectiva”, ya que se podrían recorrer trayectos muy largos rápidamente cuando se viaja a velocidades muy altas (Deudney, 2018). Esta velocidad de viaje hace que el espacio ultraterrestre sea atractivo para los usuarios militares y comerciales, ya que la aparente abundancia de recursos y hábitats espaciales se encuentra dispersa a grandes distancias de la Tierra.

Pero lograr una órbita⁸³ estable requiere alcanzar una velocidad orbital que depende de la masa del objeto a orbitar; por ejemplo, la velocidad orbital de la Tierra es de al menos 28.163 kilómetros por hora, por lo que, a esta velocidad, un objeto puede circunnavegar el planeta en unos 90 minutos (Mendenhall, 2018).

En resumen, la gravedad dicta el tamaño y la forma de la órbita de una nave espacial. Los vehículos de lanzamiento deben primero vencer la gravedad para lanzar naves espaciales al espacio, y una vez que éstas se encuentran en órbita, la gravedad determina la cantidad de propulsor que sus motores deben usar para moverse entre órbitas o conectarse con otras naves espaciales. Y más allá de la Tierra, la atracción gravitacional de la Luna, el Sol y otros planetas daría forma similar al camino de la nave espacial. La gravedad es tan importante para el entorno geográfico del espacio ultraterrestre, que toda una rama de la astronáutica, llamada “astrodinámica”, se ocupa de cuantificar sus efectos en las naves espaciales y el movimiento planetario (Sellers, et al., 2004).

3.3.2. *Atmósfera*

Es la capa de gases que rodea a un cuerpo celeste (figura 8); los gases resultan atraídos por la gravedad del cuerpo, y se mantienen en ella, si la gravedad es suficiente y la temperatura de la atmósfera es baja. El aire que se respira en la Tierra constituye su atmósfera⁸⁴. Si bien esta atmósfera forma solo una capa delgada alrededor de la Tierra⁸⁵, las naves espaciales en órbita terrestre baja aún pueden sentir sus efectos⁸⁶; ciertamente,

83 Hay varios tipos diferentes de órbitas o caminos que, por ejemplo, un satélite puede tomar en sus revoluciones alrededor del planeta Tierra; y dichas rutas orbitales tienen tres características principales (Parks, 2005): 1) altura; 2) excentricidad (circular o elíptica) y 3) inclinación (ángulo relativo al ecuador). En este sentido, la elección de la órbita dependería del uso del satélite, ya que debido a que los satélites se encuentran fuera de la atmósfera de la Tierra y por encima del entorno terrestre, tienen ventajas posicionales que los hacen atractivos para muchos usos diferentes.

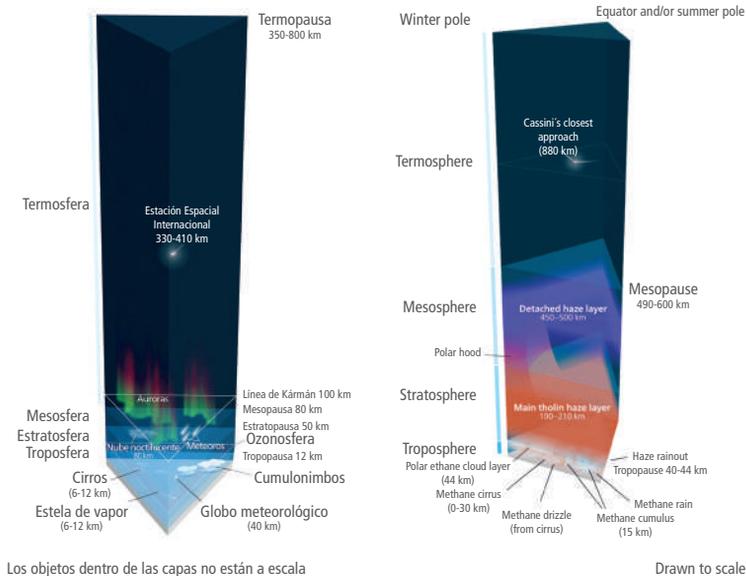
84 Casi la totalidad del aire (un 95%), se encuentra a menos de 30 kilómetros de altura, encontrándose más del 75% en la troposfera. El aire forma en la troposfera una mezcla de gases bastante homogénea (nitrógeno, oxígeno, argón, ozono, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas), hasta el punto de que su comportamiento es el equivalente al que tendría si estuviera compuesto por un solo gas.

85 La atmósfera terrestre protege la vida de la Tierra, absorbiendo en la capa de ozono parte de la radiación solar ultravioleta y actuando como escudo protector contra los meteoritos.

86 La altura de la atmósfera de la Tierra alcanza los 10.000 kilómetros, aunque más de la mitad de su masa se concentra en los primeros 6 kilómetros y el 75% en los primeros 11 kilómetros de altura, desde la superficie terrestre.

la atmósfera de la Tierra afecta de dos maneras a una nave espacial en órbita terrestre baja (por debajo de unos 600 kilómetros de altitud): 1) arrastre: acorta la vida de las órbitas y 2) oxígeno atómico: degrada las superficies de las naves espaciales. Pero para comprender la atmósfera y sus efectos, es necesario entender el papel que ejercen la “presión” y la “densidad” atmosféricas: la presión atmosférica representa la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire que forma la atmósfera sobre la superficie terrestre, mientras que la densidad atmosférica dice cuánto aire está empaquetado en un volumen dado.

Figura 8. La atmósfera de la Tierra y la de Titán⁸⁷



Fuente: Kelvinsong <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>

En este orden de ideas, a medida que se “sube” a la atmósfera, la presión y densidad comienzan a disminuir a un ritmo cada vez mayor,

87 Titán es la luna más grande de Saturno y la segunda más grande del Sistema Solar. Comparte mucho en común con la Tierra, ya que es la única luna en el Sistema Solar con nubes y una atmósfera sustancial. El viento y la lluvia crean características similares a las que se encuentran en la Tierra, como dunas, lagos y ríos; pero en Titán llueve metano líquido, llenando los ríos, lagos y mares con hidrocarburos.

ya que a medida que se asciende al espacio exterior hay menos volumen de aire por encima, por lo que la presión y la densidad disminuyen. Sin embargo, la atmósfera terrestre no termina abruptamente en un punto dado, ya que incluso a altitudes bastante altas de hasta 600 kilómetros, continúa creando resistencia en las naves espaciales en órbita. El arrastre de la nave espacial en órbita depende de la densidad del aire más la velocidad, forma, tamaño y orientación de la nave espacial al flujo de aire, y afecta a cualquier nave espacial en una órbita muy baja (menos de 130 kilómetros), lo que lo lleva a un encuentro ardiente con la atmósfera en pocos días o semanas. Aun así, el efecto de arrastre en la nave espacial en órbitas más altas es mucho más variable, ya que entre 130 a 600 kilómetros, variará mucho dependiendo de cómo cambie la atmósfera (expansión o contracción), debido a variaciones en la actividad solar. A estas alturas y actuando durante meses o años, el arrastre puede causar que las naves espaciales en estas órbitas pierdan gradualmente altitud, llevándolos a reingresar a la atmósfera. Pero por encima de los 600 kilómetros, la atmósfera es tan delgada que el efecto de arrastre es casi insignificante.

Además del arrastre, también debe considerarse la naturaleza del aire; a nivel del mar, el aire contiene aproximadamente 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de otros gases diversos, como el argón y el dióxido de carbono. Normalmente, a los átomos de oxígeno les gusta estar en grupos de dos moléculas (O₂), y en condiciones normales cuando una molécula de oxígeno se separa por cualquier motivo, los átomos se reforman rápidamente en una nueva molécula. En las partes superiores de la atmósfera, las moléculas de oxígeno son pocas y distantes, y cuando la radiación y las partículas cargadas hacen que se separen, a veces se dejan solas como oxígeno atómico (O). El problema es que los materiales de las naves espaciales expuestas al O experimentan una descomposición u “oxidación” de sus superficies, debilitando sus componentes, cambiando sus características térmicas y degradando el rendimiento de sus sensores⁸⁸.

88 Pero el oxígeno atómico también es vital para la supervivencia humana, ya que la mayoría del que flota en la atmósfera superior se combina con moléculas de oxígeno para formar una molécula especial, llamada ozono (O₃), que actúa como una cortina que bloquea la radiación dañina, especialmente la ultravioleta.

3.3.3. Vacío del espacio y el ambiente radioactivo

El entorno geográfico del espacio exterior es abrumadoramente inhóspito para la vida y crea un conjunto de obstáculos para la operación y el mantenimiento de la tecnología humana. En efecto, más allá de la delgada piel de la atmósfera de la Tierra se encuentra el “vacío” del espacio, el cual crearía tres problemas potenciales para las naves espaciales (Sellers, et al., 2004): 1) gases de escape: liberación de gases de materiales de naves espaciales; 2) soldadura en frío: fusión de componentes metálicos y 3) transferencia de calor: limitada a la radiación. Como ya se mencionó, la densidad atmosférica disminuye dramáticamente con la altitud: a una altura de unos 80 kilómetros, la densidad de partículas es 10.000 veces menor que la del nivel del mar; pero a 960 kilómetros, se encontraría un volumen de espacio dado para contener un billón de veces menos aire que en la superficie.

Un vacío puro, según la definición más estricta de la palabra, es un volumen de espacio completamente desprovisto de todo material; pero en la práctica, un vacío puro es casi inalcanzable, ya que incluso a una altitud de 960 kilómetros, todavía se encontraría alrededor de 1 millón de partículas por centímetro cúbico. Entonces, cuando se habla del vacío del espacio, se estaría hablando de un vacío “cercano”. Por tanto, y debido a que el espacio exterior es un “vacío cercano”, los organismos terrestres no pueden vivir en el espacio exterior sin la ayuda de tecnología avanzada⁸⁹, y los objetos basados en el espacio experimentan una enorme variación de temperatura, dependiendo de su ubicación en relación con el Sol. Pero fuera del filtro protector de la atmósfera también

89 No obstante, criaturas de menos de un milímetro de largo conocidas como tardígrados (y a menudo llamadas “osos de agua”), se convirtieron en el primer animal en sobrevivir a la exposición al espacio en 2007, prevaleciendo a temperaturas bajo cero, vientos solares implacables y un vacío espacial privado de oxígeno. Posteriormente, en abril de 2019, viajaban en una nave espacial israelí que se estrelló en la Luna. Para la misión lunar israelí, los osos de agua fueron deshidratados y colocados en animación suspendida, para luego ser encerrados en ámbar artificial; y si bien para la mayoría de las criaturas no habría retorno de la deshidratación, los tardígrados pueden revivir décadas después de deshidratarse. Cuando se secan, retraen sus cabezas y sus ocho patas, se arrugan en una pequeña bola y entran en un profundo estado de animación suspendida que se parece mucho a la muerte. Derraman casi toda el agua de su cuerpo y su metabolismo se ralentiza al 0.01% de la tasa normal; y si se reintroducen en el agua décadas después, pueden reanimarse. En resumen, es posible que en la Luna habiten en la actualidad miles de seres vivos, o al menos en animación suspendida.

abunda la radiación; el “viento solar” implica un flujo continuo y de alta velocidad de partículas cargadas del Sol, con erupciones ocasionales de radiación intensa de alta energía llamadas “erupciones solares”. Fuentes adicionales de radiación son los “rayos cósmicos” del exterior del Sistema Solar; estas partículas de alta energía viajan a una fracción apreciable de la velocidad de la luz y pueden causar daños masivos al tejido biológico.

Los cinturones de Van Allen son densas capas de partículas cargadas que se mantienen alrededor de la Tierra por su campo magnético, que también puede dañar a los humanos y a su tecnología. Este entorno hace que los vuelos espaciales humanos sean muy difíciles desde el punto de vista biológico, y requiere que todo lo que se haga en el espacio (con o sin humanos), incluya blindajes elaborados; es decir, se necesita hacer artificialmente lo que la atmósfera hace de forma natural, por lo que el costo de desarrollar actividades en el espacio es bastante alto.

Todas estas restricciones naturales, que hacen peligrosos y costosos los vuelos humanos al espacio exterior⁹⁰, han alentado un cambio de la actividad humana a la basada en robots. En el espacio exterior hace un frío increíble, no hay nada que respirar, no hay comida y casi no hay agua; por ello, los robots pueden desempeñarse mejor en el vacío del espacio que los seres humanos, desde excavar asteroides para obtener materiales raros, hasta obtener imágenes de otros planetas (como lo hacen actualmente las sondas espaciales que navegan el Sistema Solar).

Sin embargo, ningún viaje no tripulado (ni siquiera el de las gemelas Voyager), ha provocado tanta emoción o asombro como la primera huella humana dejada sobre la superficie de la Luna por parte de Neil Armstrong, Buzz Aldrin y Michael Collins (el equipo a cargo del Apolo 11), o el de una mujer que algún día haga lo mismo sobre la superficie de Marte⁹¹. Como lo ha atestado la historia, estaría en la naturaleza del

90 De los 135 vuelos del transbordador espacial de la NASA, dos terminaron en desastre y cada uno cobró siete vidas. Si se tolerara esa tasa de fracaso en los aviones comerciales en los Estados Unidos, se aceptaría más de 500 colisiones todos los días.

91 En los 58 años en los que los seres humanos han realizado vuelos espaciales, tan sólo 63 han sido mujeres (11% del total). Sin embargo, parecería ser que las mujeres estarían mejor equipadas para viajar al espacio ultraterrestre que los hombres, debido a varias razones (Drake, 2019): primero, son más pequeñas que los hombres, por lo que enviar humanos más ligeros al espacio es más eficiente en la medida que

ser humano explorar nuevos mundos y entornos, a pesar de los costos que estas aventuras podrían acarrear⁹²; no obstante, la gran ironía de la primera era espacial es que sus imágenes más emblemáticas no serían de la Luna ni de otros planetas, sino de la propia Tierra vista desde el espacio exterior⁹³.

Por tanto, la tecnología de vehículos para llevar seres humanos al espacio ultraterrestre enfrenta tres tareas principales: escapar de la gravedad para alcanzar el espacio orbital, mantener la integridad estructural mientras está allí y, en algunos casos, regresar de manera segura a la Tierra a través de su atmósfera; cada paso implica requisitos significativos de diseño y materiales para vehículos espaciales.

El lanzamiento requiere cohetes potentes y grandes cantidades de combustible, y los altos costos que habían persistido durante la primera era espacial obstruyeron la difusión del acceso al espacio; el costo aproximado de colocar una libra en órbita ha sido de US\$10.000, y aproximadamente el 85% del peso de un cohete en la plataforma de lanzamiento es combustible. Debido a que la fuerza de gravedad es constante, la reducción de los costos de lanzamiento solo se podría lograr disminuyendo el peso de las cargas útiles para minimizar la cantidad de combustible requerida, o mediante vehículos reutilizables, lo que sería la gran innovación de la actual segunda era espacial.

propulsar peso al espacio es costoso; además, habría un ahorro en el consumo de alimentos y oxígeno (ya que los hombres requieren entre 15 y 25% más calorías que las mujeres para los mismos niveles de energía), y menores exigencias a los sistemas de la nave diseñados para reciclar y desechar residuos corporales (personas más pequeñas producen menor bióxido de carbono y excreciones corporales). Segundo, las mujeres padecen menos los efectos físicos de viajes espaciales, particularmente aquellos de mayor duración; por causa de la radiación y de los efectos producidos por la microgravedad, si bien a los hombres parece afectarles menos el mareo, pierden la capacidad del oído y tienden a tener problemas de vista que las mujeres no experimentan con tanta frecuencia ni severidad. Tercero, las mujeres poseen algunos rasgos de personalidad que al parecer les faculta mejor en la convivencia de misiones de larga duración. Y cuarto, poblar otros mundos exige reproducirse y, hasta ahora, eso es imposible sin las mujeres; en vez de enviar una tripulación mixta de hombres y mujeres, enviar a una tripulación de mujeres y un banco de espermatozoides permite que un programa espacial economice, y al mismo, incremente la diversidad del acervo genético.

92 Durante las misiones Apolo, el programa espacial de la NASA consumió hasta el 4.5% del presupuesto federal de los Estados Unidos (en la actualidad, el presupuesto de la NASA asciende al 0,5%).

93 La más célebre es “salida de la Tierra” (Earthrise en inglés), la fotografía de la NASA AS8-14-2383HR tomada por William Anders durante la misión del Apolo 8 a la Luna, el 24 de diciembre de 1968. Estas imágenes desataron el movimiento ambiental al impulsar nuevas legislaciones para la protección del medio ambiente.

Empero, las operaciones en órbita requieren combustible y conciencia de la situación, no solo para mantener las órbitas, sino también evitar los desechos espaciales peligrosos. Es importante anotar que el espacio alrededor de la Tierra no está del todo vacío; por el contrario, contiene más de 20.000 toneladas de materiales naturales (polvo, meteoritos, asteroides y cometas), que golpean la Tierra cada año, además de un número significativo de escombros o basura espacial. Para las naves espaciales o los astronautas en órbita, el riesgo de ser golpeados por un meteoro o micro-meteoro es bastante remoto; sin embargo, desde el comienzo de la era espacial y con casi cada misión, piezas rotas de naves espaciales y otros desechos (alrededor de 2.200 toneladas), han comenzado a acumularse en las órbitas terrestres. Esta basura espacial plantea un riesgo creciente para la seguridad de las naves y los astronautas en órbita, ya que es más probable que en la actualidad una nave espacial en órbita baja golpee un pedazo de basura que un pedazo de material natural⁹⁴.

Por ende, hacer un seguimiento de toda esta basura espacial ha sido uno de los trabajos del Comando de Defensa Aeroespacial de América del Norte (NORAD) que ha utilizado radares y telescopios ópticos para rastrear más de 17.852 objetos en las órbitas de la Tierra (incluidos 1.419 satélites operacionales); no obstante, se estimaba a 2019 que más de 128 millones de pedazos de escombros de menos de un centímetro (escamas de pintura, astillas de metal, etc.)⁹⁵, aproximadamente 900.000 pedazos de escombros de 1 a 10 centímetros, y alrededor de 34.000 pedazos de más de 10 centímetros (demasiado pequeñas para que NORAD las rastree), también orbitaban la Tierra (Froehlich, 2019).

94 En 1996, la nave espacial CERISE se convirtió en la primera víctima certificada de basura espacial cuando su pluma de gradiente de gravedad de seis metros fue cortada durante una colisión con una pieza sobrante de un vehículo de lanzamiento Ariane. A diciembre de 2016, cinco colisiones satelitales habían generado aún mayores desechos espaciales.

95 La basura espacial de menor tamaño presenta un peligro a la seguridad operacional de las misiones espaciales. En órbita terrestre baja, un pequeño trozo de basura espacial se puede desplazar a velocidades fantásticas de 7.000 metros por segundo; esto le da una gran cantidad de energía a la hora de una colisión, incluso mucho más que una bala. Durante la misión del transbordador espacial en 1983, una escama de pintura de solo 0.2 milímetros de diámetro golpeó la ventana del Challenger, produciendo un cráter de 4 milímetros de ancho.

4. Regiones e imperativos astropolíticos de Colombia

Las teorías geo-deterministas de la geopolítica clásica propuestas por la escuela alemana, quizás condujeron inevitablemente a la exploración de una teoría política de la selección natural. Friedrich Ratzel⁹⁶, en su obra clásica titulada *Geografía Política*, comparaba el Estado a un organismo vivo, realizando un análisis biológico del gobierno (Ratzel, 1903)⁹⁷.

Sin embargo, el trabajo más influyente de Ratzel sería *Der Lebensraum* (espacio vital), en el cual afirmaba que los organismos se adaptaban al espacio que ocupaban; por ende, en lo que era claramente una noción darwinista, Ratzel afirmaría que los grupos culturales humanos, actuando como organismos, intentarían colonizar el espacio a su alrededor, y si tenían éxito, expandirían su espacio vital (*lebensraum*) o área de dominación.

Luego, el politólogo sueco Rudolf Kjellen llevaría la analogía a su extremo (Holdar, 1992), declarando inequívocamente que el Estado era un organismo compuesto por cinco “órganos”: 1) *kratopolitik* o la estructura del gobierno; 2) *demopolitik* o la estructura de la población; 3) *sociopolitik* o la estructura social; 4) *oekopolitik* o la estructura económica y, 5) *geopolitik* o la estructura física. Kjellen (1916) insistía en que un Estado dinámico crecería y consumiría los Estados más débiles a su alrededor⁹⁸59, y que, al hacerlo, el super-Estado lograría la autarquía o autosuficiencia nacional.

96 Geógrafo y biólogo alemán del siglo XIX; estuvo fuertemente influenciado por el trabajo de Charles Darwin.

97 Esta analogía del Estado orgánico no era algo nuevo, por cuanto Maquiavelo hizo analogías similares 400 años antes; no obstante, las observaciones de Ratzel fueron mucho más definidas.

98 La teoría del Estado orgánico alcanzaría su máxima expresión con la creación de la escuela de la Geopolitik por parte del profesor general Karl Haushofer (1928). Esta escuela estaba principalmente orientada a despertar las fuerzas del expansionismo nacionalista en la población alemana, a través de una campaña de propaganda que enfatizaba la noción del *Lebensraum* o espacio biológico de vida de Kjellen (1916), dictando que el Estado, como representante vivo de su población colectiva, necesitaba espacio para prosperar. Durante la Alemania nazi, la teoría del Estado orgánico degeneraría en una curiosa mezcla de mitología nacional, pseudociencia, determinismo geopolítico y gueoestrategia, para crear una forma única de geopolítica aplicada, que finalmente se convirtió en la encarnación de los planes para un nuevo imperio alemán en Europa central y oriental que estaba destinado a expandirse hasta donde su inevitable poder militar lo permitiera. No obstante, cabe resaltar que Hess y Hitler (estudiantes de Haushofer), basaron su plan para dominar el mundo en los principios básicos del dictamen de Mackinder; también es importante mencionar que el panregionalismo que propone Haushofer (Álvarez, et al., 2018), puede haber sido fuertemente influenciado por la política exterior de Estados Unidos del siglo XIX; de hecho, el plan alemán se denominó públicamente “una Doctrina Monroe para Europa”.

Para la astropolítica, la analogía del Estado como un organismo parecería adecuada, ya que una percepción común del interés de la humanidad por alcanzar las estrellas es que es simplemente el próximo avance lógico de la evolución de las especies, debido a que como la humanidad ha llenado y dominado el nicho biológico de la Tierra, ahora buscaría expandirse más allá de estos confines extendiéndose hacia el cosmos; si el ímpetu es la supervivencia de la humanidad (escapar a otro lugar habitable antes de arruinarlo con el holocausto ambiental o nuclear), la sobrepoblación (la válvula de seguridad biológica de la colonización espacial), la maximización de la riqueza (la búsqueda de materias primas y energía cada vez más abundantes), o una nueva interpretación del “destino manifiesto”, el empuje de la humanidad hacia las estrellas se presentaría como inevitable. De acuerdo con Dolman (2005), un Estado que coloniza con éxito el espacio exterior indudablemente extraerá orgullo del logro y probablemente también obtendrá recursos mejorados, tecnologías derivadas y poder militar.

En este orden de ideas, sería útil categorizar las regiones astropolíticas del Sistema Solar, ya que sus características influirían directamente en el desarrollo de la teoría del poder espacial y las estrategias encaminadas a que un actor estatal, como Colombia, pueda acceder de manera gradual al espacio ultraterrestre. Si bien el espacio exterior es físicamente indivisible, hay muchas regiones que son fácilmente discernibles, ya que la astrografía del espacio sería esencialmente la topografía invisible de los pozos de gravedad y las emisiones electromagnéticas. Por ejemplo, es posible considerar solo una clase de órbitas, como las órbitas geoestacionarias, y desarrollar una estrategia para el espacio geosíncrono.

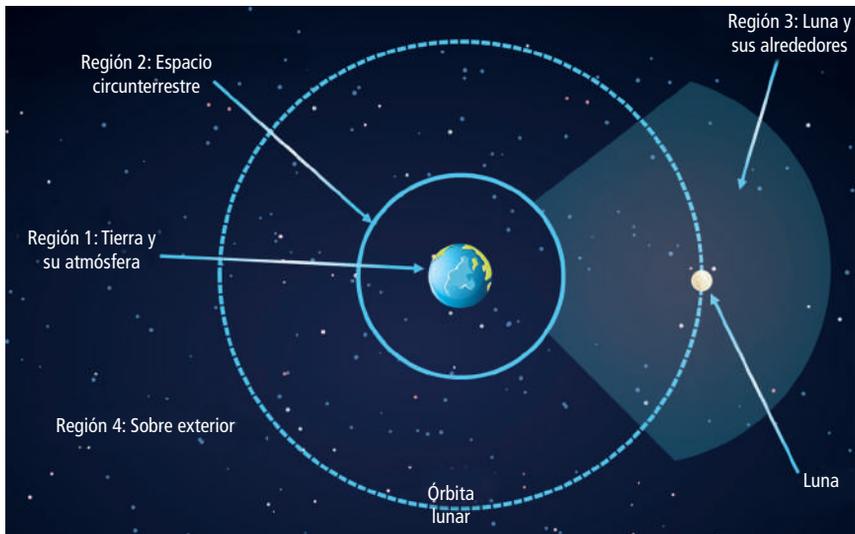
Adicionalmente, y tomando como referencia las regiones astropolíticas, también sería posible determinar cuáles podrían ser los imperativos astropolíticos de Colombia en el siglo XXI. De acuerdo con Álvarez (2017a, p. 373) los imperativos geopolíticos de un Estado serían:

Las necesidades estratégicas de carácter geográfico que un país debe perseguir si quiere lograr su propia seguridad y éxito en el plano regional o mundial; éstas son ‘camino’ no ideológicos, determinados por la geografía de un Estado y la de sus vecinos.

Con base en lo anterior, un imperativo astropolítico podría considerarse como: las necesidades estratégicas de carácter espacial que un Estado debería perseguir si quiere lograr su propia seguridad multidimensional y proyectar su influencia en el plano regional o mundial. Es decir, los imperativos astropolíticos serían las obligaciones o deberes del Estado en función de su acceso y usufructo de las regiones astropolíticas.

En consecuencia, un buen punto de partida para definir las regiones astropolíticas es considerar la taxonomía de Collins (1989), la cual comprende cuatro regiones del entorno espacial (figura 9).

Figura 9. Regiones espaciales



Fuente: Elaboración propia a partir de Collins (1989)

Mackinder (1904) identificó regiones distintas en su estudio sobre el poder mundial, para establecer cómo sus interacciones definirían el curso de la historia global. Como ya se ha comentado, Mackinder creía que la historia podía entenderse como una lucha alterna entre el poder marítimo y el terrestre; en este sentido, proyectó que el dominio naval de Gran Bretaña en el siglo XIX pronto daría paso a un poder continental con base en tierra, gracias a las nuevas tecnologías ferroviarias. Pues bien, con el próximo cambio en la tecnología del transporte, y con el

inevitable aumento de la exploración espacial, parecería compatible una división comparable del entorno espacial en regiones político-geográficas. Entonces, siguiendo el ejemplo de Mackinder (1904), la astropolítica realizaría una demarcación de las regiones astropolíticas del Sistema Solar (figura 10).

Figura 10. Regiones astropolíticas del Sistema Solar



Fuente: Elaboración propia con base en Dolman (2005)

Una suposición de este análisis es que el potencial de recursos del espacio (como el *heartland* de Mackinder), es tan vasto, que, si un Estado obtuviese el control efectivo de él (por ejemplo, la Luna parece ser rica en aluminio, titanio, hierro, calcio y silicio), ese Estado podría dictar los destinos políticos, militares y económicos de todos los gobiernos terrestres. No obstante, el acceso a los recursos contenidos en asteroides, los planetas y sus lunas, los cometas y meteoritos, así como el Sol, solo es posible a través de las regiones intermedias entre esos cuerpos celestes y la Tierra; por ello, se describen a continuación las cuatro regiones astropolíticas del Sistema Solar (Dolman, 2005):

4.1. Primera región astropolítica: La Tierra y su atmósfera

Incluye la atmósfera, que se extiende desde la superficie terrestre hasta la línea de Kármán, a 100 kilómetros sobre el nivel del mar⁹⁹. Esta región astropolítica se ocupa de la topografía en el sentido clásico de la geopolítica (formas continentales, océanos, etc.), y es la región de transición entre el campo de estudio de la geopolítica y la astropolítica.

La inclusión de una región terrestre es un concepto crítico para el modelo de Dolman (1999), configurándose como un escenario adecuado para actividades espaciales, ya que en la superficie de la Tierra se producen todos los lanzamientos espaciales actuales, operaciones de comando y control, investigación y desarrollo espacial, producción de naves y satélites espaciales, actividades anti-satélites, así como la mayoría de los mantenimientos, reparación y almacenamiento de activos espaciales.

Y si bien la eficiencia y la economía dictarán que todas las operaciones espaciales esenciales, incluidas la construcción y el lanzamiento, el seguimiento y el control, y diversas formas de comercio espacial se llevarán a cabo en el espacio exterior, por ahora, sin embargo, todas estas funciones seguirán estando ligadas a la Tierra. Aun cuando llegue el día en que estas funciones se realicen en el espacio ultraterrestre, la mayoría de la población que se alimentará de la generosidad del espacio exterior permanecerá en la Tierra, al igual que los gobiernos que controlarán las operaciones espaciales; por ende, la importancia de la Tierra y su atmósfera como primera región astropolítica no disminuirá, al menos en el corto plazo. En esta primera región astropolítica se destacan los puertos espaciales, ya que, para llegar al espacio, la humanidad depende de instalaciones especializadas construidas para enviar y recibir vehículos propulsados por cohetes. Hoy, docenas de sitios alrededor del globo albergan puertos espaciales; en la actualidad, 21 están activos, incluidos los únicos tres que han enviado humanos al espacio (figura 11).

99 En 1942, el cohete V-2 alemán fue el primer objeto artificial que cruzó la línea de Kármán, que es considerada generalmente como el borde entre la Tierra y el espacio exterior (Bille y Lishock, 2004).

Figura 11. Puertos espaciales en el mundo



Fuente: adaptada de Soren Walljasper, Ng Staff.

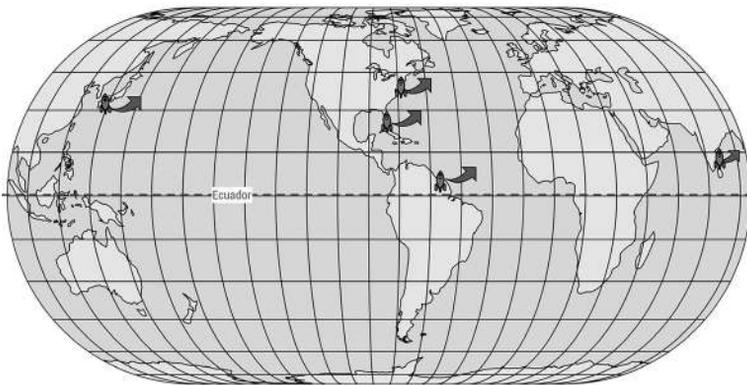
Por consiguiente, y dadas las realidades actuales, una pregunta astropolítica podría ser: ¿En qué lugar de la Tierra se encuentran los puertos espaciales más eficientemente ubicados? Pues bien, así como el diseño y planeamiento de la órbita de un satélite requiere de conocimientos en mecánica orbital y astrodinámica¹⁰⁰, la elección de la ubicación perfecta de un puerto espacial implica también el estudio y análisis de muchos parámetros diferentes.

Entre ellos, una de las principales preocupaciones de los ingenieros y científicos espaciales es garantizar que el satélite en cuestión reciba el mayor impulso natural posible durante su ascenso inicial. Como el planeta Tierra gira alrededor del Sol, y la velocidad con la que lo hace es de 108.000 kilómetros por hora, es evidente que la velocidad orbital de la Tierra es muy rápida; en consecuencia, si se lanza un cohete en la misma dirección en la que se mueve el planeta, el cohete obtendría una buena ventaja en materia de velocidad. Por tanto, lanzar un cohete

100 Ver Capitulo X del Volumen II de esta obra.

desde la costa este de un Estado le da un impulso adicional, debido a la velocidad de rotación de la Tierra; además, y ante la eventualidad de algún accidente durante su ascenso, los escombros caerían esencialmente en aguas de un océano al viajar hacia el este, lejos de áreas densamente pobladas (figura 12).

Figura 12. Sitios de lanzamiento hacia el este



Fuente: Elaboración propia

Al ser máquinas complejas que pesan un par de cientos de miles de libras, huelga decir que existen múltiples cosas que pueden salir mal durante el lanzamiento de un cohete, por lo que se deben tener en cuenta innumerables contingencias para minimizar aquellos riesgos asociados con el lanzamiento de estas naves espaciales. Probablemente la situación más peligrosa es la falla a mitad del vuelo; esto podría tener graves consecuencias, como la explosión del vehículo y la quema de escombros que caen del cielo y aterrizan sobre áreas habitadas. Ello justifica la razón por la cual ciertos puertos espaciales como el Centro Espacial Kennedy en la Florida (que realiza la mayoría de los lanzamientos de cohetes en los Estados Unidos), y el Centro Espacial Satish Dhawan en Sriharikota (el puerto espacial de mayor tráfico espacial en India), se encuentran al lado de un mar abierto; tales ubicaciones se eligen, entre otras, en un esfuerzo

por minimizar (si no eliminar por completo), el riesgo para la vida humana en el caso de una falla durante el ascenso inicial de un cohete.

En este sentido, construir un puerto espacial colombiano en la Península de La Guajira, un territorio al este de la geografía colombiana y contiguo al mar, parecería ser conveniente (figura 13); sin embargo, no estaría geográficamente resguardado de posibles amenazas externas¹⁰¹, y no aprovecharía suficientemente la ventaja geoestratégica que proveerían otros territorios ecuatoriales de Colombia, por cuanto la costa del Caribe colombiano no se encuentra tan cerca de la línea del ecuador.

Figura 13. Puerto espacial en la Península de La Guajira



Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth

Con base en lo anterior, otro criterio para la elección de un sitio ideal de lanzamiento para naves espaciales tendría que ver con otro tipo de movimiento que tiene el planeta Tierra: el de rotación, es decir, el de girar continuamente sobre su eje. No obstante, esta velocidad de rotación no es la misma en todas partes del planeta; está en un máximo en

101 Tal sucedería con otro candidato a puerto espacial en Colombia, la base aérea de Marandúa en el Vichada, que se encuentra a escasos 123 kilómetros de la frontera colombo-venezolana.

aquellas áreas que se encuentran en la línea del ecuador (en donde la velocidad ecuatorial promedio es de 1.674 kilómetros por hora); en contraste, por ejemplo, de las regiones polares, en donde es prácticamente inexistente. Como resultado y, teniendo en cuenta que la velocidad de rotación de la Tierra es la más alta en el ecuador¹⁰², la mayoría de los sitios de lanzamiento en el mundo se encuentran cerca del ecuador; esto se debe a que los cohetes lanzados desde sitios cerca del ecuador obtienen un impulso natural agregado que ayuda a ahorrar el costo de combustible y otros esfuerzos adicionales. Otra razón por la que se lanzan cohetes desde lugares cercanos a la línea del ecuador es que los satélites destinados a alcanzar una órbita geoestacionaria, deben tener una inclinación de cero grados con respecto al plano ecuatorial; si no, se ven obligados a realizar correcciones complejas del curso, quemando un mayor volumen de combustible para alcanzar la órbita adecuada.

Con base en estas premisas, la administración Trump firmó en marzo de 2019, un acuerdo preliminar con Brasil para conducir en el futuro posibles lanzamientos de cohetes estadounidenses desde Alcântara, el centro de lanzamiento brasileño. El objetivo del gobierno brasileño ha sido ofrecer una ubicación más económica que la del Centro Espacial de Guayana en la Guayana Francesa, donde se lanzan en la actualidad todos los cohetes de la Agencia Espacial Europea (ESA). En este orden de ideas, Alcântara cuenta con dos ventajas geográficas que otros puertos espaciales: 1) está localizado en la costa de Brasil, con el Océano Atlántico al este; ese es uno de los criterios anteriormente mencionados para el establecimiento de un puerto espacial, ya que muchos cohetes se lanzan

102 El ecuador es el círculo máximo imaginario perpendicular al eje de rotación de la Tierra; este círculo, equidistante de los polos, divide la Tierra en dos hemisferios: hemisferio Norte, semiesfera que abarca desde el ecuador hasta el polo Norte, y hemisferio Sur, la otra semiesfera que comprende desde el ecuador hasta el polo Sur. Al norte y al sur del ecuador y, paralelos al mismo, se pueden trazar una sucesión de círculos menores imaginarios que se hacen más pequeños a medida que se acercan a los polos; estos círculos menores (incluido el ecuador) reciben el nombre de paralelos. Aparte del ecuador, los cuatro paralelos más notorios son: el Trópico de Cáncer (23°27'N) y el Trópico de Capricornio (23°27'S), los cuales marcan los puntos más al norte y al sur del ecuador donde los rayos del Sol caen verticalmente, es decir, son las latitudes máximas que alcanza el astro en su movimiento anual aparente; y el Círculo Polar Ártico (66°33'N) y el Círculo Polar Antártico (66°33'S), que marcan los puntos más al norte y al sur del ecuador donde el Sol no se pone en el horizonte o no llega a salir hacia unas fechas determinadas (solsticios).

hacia el este para que coincidan con la dirección de la órbita de la Tierra y 2) su proximidad al ecuador, lo cual se constituye en el mayor activo geopolítico del puerto espacial de Brasil.

Existiría otra característica crítica para la ubicación de centros de lanzamiento espacial (Dolman, 2005); ésta tendría que ver con las perturbaciones orbitales que degradan la estabilidad de todas las órbitas terrestres (a excepción de dos órbitas), lo que requiere gastos regulares de esfuerzo de velocidad total para estabilizarlas. Las órbitas altamente estables están inclinadas a 63.4° y 116.6° con respecto al plano ecuatorial; esto significa que un satélite en órbita en cualquiera de estas inclinaciones se mantendrá estable con gastos mínimos de combustible, lo que aumentará en gran medida su vida útil. Más importante aún, los satélites que operan en redes mantendrán su espacio adecuado sin correcciones orbitales continuas. En consecuencia, los satélites lanzados hacia el este (maximizando los efectos de rotación de la Tierra), desde un puerto espacial a 63.4° de latitud norte o sur, entrarán eficientemente en una órbita inclinada de 63.4° con un gasto mínimo de combustible a bordo.

Las geolocalizaciones a 63° norte con suficiente capacidad de rango inferior incluyen el norte de Siberia, la costa este de Groenlandia, el extremo norte de Canadá y la mayor parte de Alaska; por su parte, la latitud sur de 63° se cruza con la masa terrestre antártica (una ubicación terrestre ineficiente en costos para un importante puerto espacial), por lo que más accesibles de estas áreas son Alaska y el noroeste de Siberia. Por eso no todos los satélites se lanzan desde regiones ecuatoriales; por ejemplo, los satélites que necesitan alcanzar una órbita polar alrededor de la Tierra no tendrán ningún uso para el impulso natural de la rotación de la Tierra, ya que se dirigen hacia el norte o hacia el sur. Ello determina que existan también sitios de lanzamiento cerca de los polos, como el Cosmódromo Plesetsk del norte de Rusia, ubicado exactamente a 63.4° de latitud norte; en efecto, cuanto más al norte o al sur se encuentre un puerto espacial, más fácil será lanzar un satélite a una órbita que pase sobre los polos de la Tierra.

Otra consideración con relación a la ubicación de puertos espaciales y centros de comando y control espacial son los campos de visión de los

satélites. El punto por resaltar aquí es que, para controlar los satélites en el espacio o para controlar la Tierra desde el espacio, se requiere una red global de centros de contacto terrestres o una red global de satélites interconectados, respectivamente. Por varias razones, un Estado puede desear evitar la última opción, ya que las redes vinculadas por satélite serían más vulnerables a la interferencia de Comando, Control, Comunicaciones e Inteligencia (C³I), que las redes no vinculadas, lo cual preocupa sobre todo en los satélites de espionaje¹⁰³. Independientemente de los requisitos de control del satélite y/o la red, el espacio dicta la cantidad de satélites necesarios para una cobertura efectiva; las limitaciones físicas de la mecánica orbital dictan que la única ubicación en el espacio que permite que un satélite mantenga una posición constante con respecto a la superficie de la Tierra es el cinturón geoestacionario. Para optimizar el acceso a la Tierra desde la posición geoestacionaria, sería necesaria una red de al menos tres satélites para ver cualquier punto de la Tierra entre 70° de latitud norte y sur¹⁰⁴.

Sin embargo, incluso con tres satélites, no se puede acceder de manera confiable a gran parte del territorio de la Tierra, ya que las áreas terrestres por encima de los 70° de latitud tienen dificultades de transmisión desde los satélites en órbita geoestacionaria, especialmente en condiciones climáticas adversas y durante periodos de alta actividad solar; estas áreas incluyen gran parte de Escandinavia, Rusia y Canadá. Por ende, se requiere una red alternativa o auxiliar de tres a seis satélites en órbita de tipo Mólniya para una comunicación continua¹⁰⁵, pero para

103 La transmisión en ráfaga (y/o la transmisión de haz), dirigida desde el satélite al control de tierra es mucho más segura; sin embargo, el enlace C³I de satélite a satélite sería más oportuno. No obstante, China transmitió, desde el satélite Micius, mensajes “a prueba de interferencia” a dos estaciones receptoras en tierra separadas a 1.200 kilómetros de distancia; estos mensajes estaban protegidos mediante la explotación de la física cuántica, que dice que cualquier intento de espiarlo haría cambios detectables. La teletransportación cuántica podría aprovecharse para producir una nueva forma de red de comunicación, en la que la información sería codificada por los estados cuánticos de los fotones enredados, en lugar de cadenas de 0s y 1s. La gran ventaja de seguridad radica en que es imposible para un espía medir los estados de los fotones sin molestarlos y revelar su presencia.

104 Los campos de visión de satélites superpuestos son necesarios para tener en cuenta las líneas de visión altamente oblicuas desde la extremidad de la Tierra; por tanto, dos satélites no pueden cubrir efectivamente el globo.

105 La órbita de Mólniya es un tipo de órbita muy elíptica con una inclinación de 63.4° y un periodo orbital de unas 12 horas. Un satélite situado en esta órbita se pasa la mayor parte del tiempo sobre una determinada área de la Tierra, fenómeno conocido como “pozo del apogeo”. Las órbitas Molniya no están limi-

proporcionar una cobertura verdaderamente global de la Tierra desde el espacio exterior, incluidas las regiones polares, en teoría se requiere un mínimo de solo cuatro satélites. Colocado en órbitas supersíncronas inclinadas precisas de 63.4° (más de 24 horas), se puede ver un satélite desde cualquier punto de la Tierra en cualquier momento; debido a que estos satélites no están fijos en relación con la superficie de la Tierra, los usuarios terrestres necesitarían la capacidad de rastrear y adquirir satélites a medida que se mueven dentro y fuera de la vista, una práctica costosa y que consume mucho tiempo. Además, los satélites a altitud síncrona requieren transmisores grandes, pesados y de alta salida para comunicarse con los usuarios terrestres (debido a la distancia física); incluso, no son adecuados para algunas misiones, como las imágenes terrestres de alta resolución (nuevamente debido a la distancia).

Por el contrario, para garantizar comunicaciones continuas con cualquier satélite de la Tierra, se necesitan al menos tres estaciones de control espaciadas uniformemente alrededor del planeta para satélites de órbita terrestre alta, y un mínimo de 16 estaciones de control para los de órbita terrestre baja. Esta es la razón por la cual Estados Unidos ha ubicado estaciones de rastreo del espacio profundo en Australia y España, mientras Rusia ha mantenido una flota de naves de control y rastreo espacial desplegadas en aguas internacionales. Sin embargo, el control terrestre y las bases de recepción de datos se vuelven menos importantes a medida que las redes de satélite se hacen más comunes. El enlace electromagnético de satélite a satélite significa que las funciones anteriormente dispersas se pueden realizar desde prácticamente cualquier sitio en todo el mundo. No obstante, esa situación acrecienta la vulnerabilidad al extender el enlace de comando y control y aumentar el número de nodos de operaciones críticas. A medida que las órbitas de los satélites disminuyen en altitud y crecen en valor práctico, se requieren más satélites para mantener una cobertura global continua. El sistema de navegación por satélite de posicionamiento global (GPS), que tiene un requisito operativo

tadas a la Tierra, sino a cualquier cuerpo celeste con forma de geode; dicha forma da lugar a variaciones seculares en la longitud del nodo ascendente y el argumento del perigeo. Para mayor información, ver Capítulo X del Volumen II de esta obra.

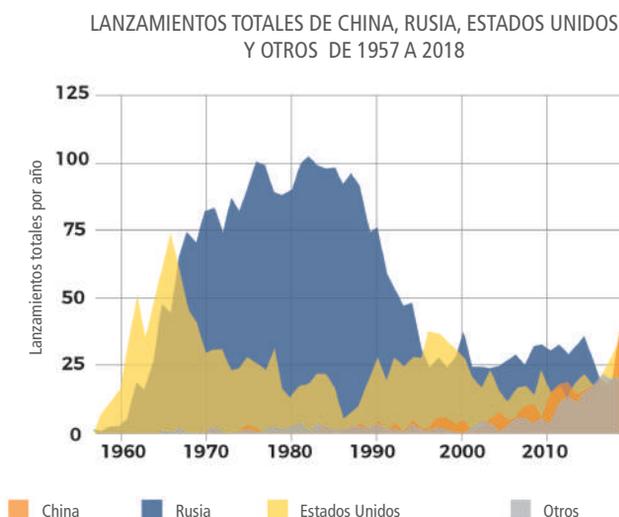
para que cuatro satélites estén a la vista de cualquier punto de la Tierra en un momento dado (para una geolocalización precisa), requiere que 21 satélites estén espaciados con precisión en órbitas semisincrónicas inclinadas (12 horas) a 24.000 kilómetros de altitud. También entrarían en juego otros criterios para la ubicación de puertos espaciales en la Tierra, como la accesibilidad al puerto espacial (debería ser fácilmente accesible desde tierra, aire y/o mar), y la existencia de defensas naturales que potencien el resguardo de su infraestructura crítica¹⁰⁶. Además, un lanzamiento espacial orbital desde cualquier puerto espacial requiere condiciones climáticas favorables. Los primeros puertos espaciales se elevaron en el apogeo de la Guerra Fría (en Estados Unidos y la Unión Soviética), en donde las consideraciones para la defensa de dichas instalaciones eran un asunto de seguridad nacional. Posteriormente, y entre las décadas de 1960 y 1980, otros actores como China, India y Japón construyeron sus propios puertos espaciales, dándoles independencia para lanzar sus propias misiones. A pesar de ello, los puertos espaciales estarían en un momento de transición en la actualidad, ya que a medida que las órbitas se sigan comercializando, las compañías privadas se esforzarán por ofrecer viajes relativamente asequibles a las distintas órbitas; y resulta que estas corporaciones privadas también necesitan lugares para el lanzamiento de sus cohetes. Por ejemplo, SpaceX ha arrendado la plataforma de lanzamiento 39A del Centro Espacial Kennedy, la misma plataforma que envió al Apolo 11 a la Luna en 1969¹⁰⁷; la compañía utili-

106 Por ejemplo, los chinos tienen sus puertos espaciales al interior de sus montañas, en principio por razones defensivas. Los puertos espaciales terrestres son vulnerables a los ataques físicos cinéticos de una variedad de armas militares convencionales, desde misiles guiados hasta fuego de armas pequeñas a distancias más cortas. Debido a que a menudo son altamente visibles y son más accesibles que los objetos en el espacio, los puertos espaciales pueden ser un blanco más fácil para los adversarios que buscan interrumpir o degradar los sistemas espaciales del enemigo. Incluso si las estaciones terrestres son difíciles de atacar directamente, pueden ser interrumpidas indirectamente atacando la red eléctrica, el suministro de agua y las líneas de comunicación de alta capacidad que las soportan.

107 Una plataforma de lanzamiento consiste en una base y un soporte de lanzamiento, estructura metálica que mantiene el cohete vertical antes de su lanzamiento; los cables umbilicales del soporte de lanzamiento proporcionan al cohete energía mediante líquidos refrigerantes y propelente de relleno antes del lanzamiento (la estructura también ayuda a proteger el cohete de los rayos). Los diferentes puertos espaciales tienen distintas formas de poner cohetes en las plataformas de lanzamiento; por ejemplo, en el Centro Espacial Kennedy de la NASA, el transbordador espacial se ensambló verticalmente y se trasladó a la plataforma de lanzamiento en un vehículo similar a un tanque llamado rastreador, mientras que, en el programa espacial ruso, se transporta cohetes horizontalmente en tren hasta la plataforma

zará las instalaciones de la NASA al menos hasta la década de 2030, ya que está construyendo un puerto espacial privado en Brownsville, Texas. Blue Origin también tiene una instalación de lanzamiento en Texas y una plataforma de lanzamiento alquilada en Cabo Cañaveral, y en 2018, la estadounidense Rocket Lab lanzó con éxito pequeños satélites a órbita desde su propio sitio de lanzamiento en la Península de Mahia, en Nueva Zelanda. En 2018 hubo 90 lanzamientos orbitales, pero solo 29 de ellos despegaron de Estados Unidos (figura 14); por eso, cuando termine de despegar la economía espacial, la demanda por otras ubicaciones para el lanzamiento de cohetes podría también aumentar considerablemente¹⁰⁸.

Figura 14. Lanzamientos totales por país



Fuente: Adaptado de Harrison, Johnson y Roberts (2019)

de lanzamiento, donde luego se levantan en posición vertical. Las plataformas de lanzamiento también tienen características que minimizan el daño del lanzamiento del cohete: cuando un cohete se enciende por primera vez, las válvulas que recubren la plataforma de lanzamiento rocían cientos de miles de galones de agua en el aire alrededor del escape, lo que ayuda a disminuir el rugido ensordecedor del cohete; además, las trincheras debajo de la plataforma de lanzamiento también dirigen el escape del cohete hacia afuera y lejos de la nave, por lo que las llamas no pueden volver a levantarse y envolver el cohete.

108 Es importante señalar que los puertos espaciales no están exentos de generar ciertos problemas; por ejemplo, los bulliciosos puertos espaciales podrían complicar el espacio aéreo de los países, presentando desafíos para el control del tráfico aéreo, y como cualquier instalación importante, podrían llegar a tener impactos ambientales, desde la contaminación acústica hasta posibles derrames de combustible para cohetes.

Con base en las consideraciones anteriores, y tomando en cuenta que la primera región astropolítica de la Tierra y su atmósfera son los equivalentes conceptuales de una zona costera para el espacio exterior (Dolman, 2005), y que como todos los objetos que salen de la Tierra al espacio exterior deben pasar a través de esta región (y viceversa), el primer imperativo astropolítico de Colombia sería: asegurar una “cabeza de playa”¹⁰⁹ en la región astropolítica de la Tierra y su atmósfera. La Tierra y su atmósfera, como el este de Europa en el diseño de Mackinder, podría ser, en consideración de los autores de este capítulo, el escenario más crítico para la astropolítica. En efecto, Mackinder (1962) teorizaba que aquel que controlase Europa del Este controlaría el *heartland*, y aquel que controlase el *heartland* dominaría la Isla Mundial. Pues bien, aquel que tenga las capacidades autónomas tangibles e intangibles de acceder al espacio exterior, tendrá la facultad de usufructuar los vastos recursos del Universo, así como restringirle o incluso negarle, a aquellos actores que no tengan las capacidades de acceder al espacio, el acceso a esos recursos. Como resultado, contar con cohetes y centros de lanzamiento es primordial en las intenciones de acceso al espacio, más aún si se tienen las condiciones técnicas y geográficas para hacerlo.

En este orden de ideas, para satisfacer el primer imperativo astropolítico de Colombia, la astroestrategia del Estado colombiano sería construir y operar uno o dos puertos espaciales en la geografía colombiana, que no solo le otorguen al Estado la autonomía de desarrollar sus propias misiones espaciales, sino también de ofrecer servicios de lanzamiento a otros Estados y empresas privadas, aprovechando la condición estratégica de país ecuatorial. Por tanto, una región con gran potencial para el establecimiento de un puerto espacial en territorio colombiano podría ser el valle del Patía, en el departamento del Cauca (1°59'38.57" N, 77°06'34.71" O), ya que además de ser una región seca a tan solo 586 metros sobre el nivel del mar (donde el combustible produce su máximo rendimiento), también está localizada muy cerca de la línea del ecuador.

109 Cabeza de playa o cabecera de playa es un término militar usado para describir la línea creada cuando un grupo de unidades armadas alcanzan la costa y comienzan a defender el área hasta que se produce el arribo de un número suficiente de refuerzos, momento en el que se crea una posición lo bastante fuerte como para comenzar un avance ofensivo.

Resguardado por el Océano Pacífico y la Cordillera Occidental de los Andes, el valle del Patía se encuentra contiguo a la carretera Panamericana (figura 15), que lo conectaría con los aeropuertos de Cali (a 180 kilómetros), Popayán (a 78 kilómetros) o Pasto (a 86 kilómetros), así como con el puerto marítimo de Buenaventura (a 215 kilómetros), por lo que no habría que construir una infraestructura adicional para el transporte de personal, componentes tecnológicos o combustible para los cohetes; incluso, hace muchos años atrás pasaba una línea férrea cerca a dicho territorio que podría recuperarse.

Figura 15. Puerto espacial en el Valle del Patía



Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth

Por ende, un puerto espacial en el Valle del Patía tendría una ligera ventaja con relación a los centros de lanzamiento de Alcântara en Brasil y de Cabo Cañaveral en La Florida, ya que se encuentra a una latitud de solo 1° al norte del ecuador¹¹⁰, en comparación con los 2.3°

110 La latitud proporciona la localización de un lugar, en dirección norte o sur desde el ecuador y se expresa en medidas angulares que varían desde los 0° del ecuador hasta los 90°N ($+90^\circ$) del polo Norte o los 90°S (-90°) del polo Sur. Por su parte, la longitud proporciona la localización de un lugar, en dirección

al sur de Alcântara y los 28.5° al norte del puerto espacial de la NASA en La Florida. El sitio facilitaría mucho a los operadores de satélites enviar cargas útiles a una órbita ecuatorial, ya que desde Colombia los cohetes obtendrían un impulso adicional en la velocidad, gracias a la rotación de la Tierra, que ayuda a ahorrar combustible. En contraste, llegar a la órbita geoestacionaria desde La Florida requiere un poco de más de trabajo, ya que los cohetes deben depositar un satélite en un camino ligeramente inclinado desde el ecuador (a una inclinación de 28.5 grados), obligando a los satélites a cambiar su dirección en órbita, lo cual requiere de un mayor consumo de combustible; por el contrario, en el Valle del Patía dicho cambio sería minúsculo y requeriría menos combustible.

Otro territorio colombiano con las condiciones para albergar un puerto espacial sería el desierto de la Tatacoa (3°13'25.28" N, 75°10'08.50" O), la segunda zona árida más extensa de Colombia después de la Península de La Guajira. Al igual que el Valle del Patía, el desierto de la Tatacoa también se constituye como un lugar geográficamente privilegiado por su ubicación próxima al ecuador terrestre, a 436 metros sobre el nivel del mar y protegido entre cordilleras. Adicionalmente, por sus linderos pasa una adecuada infraestructura vial que lo conecta con la capital del país y otras ciudades intermedias; en efecto, al encontrarse en el núcleo vital de Colombia (Álvarez, 2017a) y al norte del Departamento del Huila, la Tatacoa se ubica a escasos 38 kilómetros del aeropuerto de la ciudad de Neiva, a 125 kilómetros de Ibagué y a 189 kilómetros de Bogotá. (figura 16)

este u oeste desde el meridiano de referencia 0°, o meridiano de Greenwich, expresándose en medidas angulares comprendidas desde los 0° hasta 180°E (+180°) y 180°W (-180°). Los meridianos consisten en semicírculos que, pasando por los polos, son perpendiculares al ecuador; cada meridiano está compuesto por dos semicírculos, uno que contiene al meridiano considerado y otro al meridiano opuesto (antimeridiano). Cada meridiano y su antimeridiano dividen la Tierra en dos hemisferios: occidental y oriental. Por consiguiente, el meridiano de Greenwich es el que divide la Tierra en los hemisferios oriental y occidental.

Figura 16. Puerto espacial en el Desierto de la Tatacoa



Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth

Además, por dicha región pasa el oleoducto del Alto Magdalena, así como un poliducto y gasoducto que facilitarían el suministro de combustible y energía requerida para las operaciones del puerto espacial; y ya que no cuenta con una contaminación lumínica ni auditiva significativa, las condiciones geográficas y atmosféricas en la Tatacoa son perfectas para la observación de los cuerpos celestes (desde allí se pueden observar las 88 constelaciones), lo que habilitaría a que en dicha región se pudiese establecer una ciudad espacial, con puertos de lanzamiento, centros de comando y control, universidades e institutos técnicos en profesiones y saberes relacionados con las actividades aeroespaciales y, observatorios astronómicos.

En resumen, la Tierra y su atmósfera son el punto de origen actual de todas las naves espaciales y operaciones de apoyo espacial. Y el sitio de lanzamiento de origen de una nave espacial tiene un impacto significativo en su órbita. El Ecuador tiene un valor particular como ubicación del sitio de lanzamiento, especialmente en órbita geoestacionaria; esto se debe a que el giro de la Tierra se puede utilizar para ayudar a alcanzar la velocidad

orbital, y la velocidad relativa del movimiento de la Tierra disminuye, de 1.670 kilómetros por hora en el ecuador, a ningún movimiento relativo en los polos. Dado que la velocidad mínima necesaria para salir del pozo de gravedad de la Tierra es de poco más de 28.000 kilómetros por hora (mach 25), un vehículo de lanzamiento que se dirija hacia el este a lo largo del ecuador tendría que alcanzar una velocidad de solo 26.400 kilómetros por hora, en relación con su punto de lanzamiento para alcanzar la órbita. Por el contrario, un satélite lanzado hacia el oeste a lo largo del ecuador tendría que agregar 1.670 kilómetros por hora, y por tanto necesitaría alcanzar una velocidad de casi 29,700 kilómetros por hora en relación con su punto de partida para colocar un satélite en órbita, una diferencia de 3,300 kilómetros por hora. Un lanzamiento hacia el este desde el desierto de la Tatacoa, a solo 3° al norte del ecuador, recibe una ventaja de eficiencia de combustible del 17% sobre un cohete estadounidense lanzado al este desde Cabo Cañaveral, a 28.5° al norte del ecuador.

Y dado que los lanzamientos de latitudes más bajas a menudo requieren menos energía y, por tanto, menos propulsores que los de las latitudes más altas, el mismo vehículo de lanzamiento podría usarse para lanzar más masa desde Colombia que desde, por ejemplo, el Cosmodrome de Plesetsk en Rusia. Del mismo modo, un satélite lanzado desde el norte de Escocia requeriría más propelente para alcanzar algunas órbitas que el mismo satélite lanzado a la misma órbita desde el Valle del Patía o el Desierto de la Tatacoa. Como el cinturón geosíncrono sigue siendo un régimen orbital clave para la seguridad nacional de los Estados que viajan al espacio, Rusia y China han invertido en oportunidades de lanzamiento de latitudes más bajas para lanzar sus vehículos espaciales. Por ejemplo, después de abandonar un intento de lanzar un vehículo derivado de Soyuz desde el sitio de lanzamiento de la Isla de Navidad de baja latitud en Australia, el gobierno ruso se centró en el Centro Espacial de Guayana en América del Sur, donde comenzó la construcción de una plataforma de lanzamiento compatible con Soyuz en 2005 y lanzado por primera vez en 2011. No en vano, dos tercios de todos los lanzamientos globales de GEO han sido apoyados en los últimos 10 años, por puertos espaciales en latitudes de 30° y menos (Roberts, 2019).

Por consiguiente, la geografía y la física conspiraron para ubicar los primeros puertos espaciales de la humanidad en latitudes medias y en áreas tan cerca del ecuador como fuese posible. Debido a la rotación de la Tierra sobre su eje, la superficie terrestre se mueve más rápido cuanto más cerca se esté del ecuador; esto significaría que los lanzamientos ecuatoriales dejan al planeta con más empuje, lo que los hace más eficientes. En consecuencia, ubicar centros de lanzamiento en Colombia se justifica por su relación intrínseca con la eficiencia orbital¹¹¹. Empero, si los puertos espaciales se ubicasen teniendo en cuenta solo factores geográficos, todos se localizarían en el ecuador, con zonas seguras de caída al este y en regiones protegidas de condiciones climáticas desfavorables. Pero, por supuesto, los puertos espaciales están ubicados en todo el mundo, lo que sugiere que los factores geográficos son solo una parte del proceso para determinar dónde se ubicará un puerto espacial. Para los programas espaciales patrocinados por el Estado, uno de los factores más importantes al elegir dónde construir un puerto espacial es la accesibilidad; así mismo, algunos operadores de puertos espaciales esperarían que los lanzamientos puedan llamar la atención del público, tal vez generando apoyo nacional para el programa espacial o para avanzar en la competencia internacional entre los Estados que viajan al espacio.

Pero de acuerdo con Dolman (1999), los requisitos para que un Estado logre convertirse en un actor astropolítico, también incluirían otras consideraciones: 1) el Estado debería ser lo suficientemente grande en términos territoriales para incorporar una amplia base de recursos naturales e industriales y contar con los sitios necesarios para el apoyo del espacio terrestre; 2) también debería ser lo suficientemente grande en términos de población para soportar el gasto extremo de los esfuerzos espaciales, a través de los impuestos y, 3) debe contar con un recurso humano calificado que provea el conocimiento y los servicios de alta tecnología que son necesarios para apoyar las operaciones espaciales. Pues bien, Colombia es el 25vo país más grande del mundo, ya que tiene una

111 Los cohetes Arian de la ESA no se construyen en el centro espacial de la Guyana; unas partes se envían en barco y otras por vía aérea desde Europa y se ensamblan allí. Por ende, al menos en una primera etapa, no es necesario que Colombia construya cohetes; un primer paso de cara a una participación más activa en el espacio exterior sería ofrecer servicios de lanzamiento.

superficie terrestre y marítima combinada de 2.070.408 kilómetros cuadrados y una cantidad considerable de recursos naturales. Es la cuarta economía de América Latina y el tercero en población, después de Brasil y México; además, su recurso humano es uno de los mejores calificados de la región. Es decir, cuenta con los recursos humanos y materiales suficientes para convertirse en un Estado astropolítico; solo haría falta la voluntad política.

4.2. Segunda región astropolítica: el espacio terrestre

Desde la órbita viable más baja de la Tierra hasta un poco más allá de la altitud geostacionaria (unos 36.000 kilómetros), se encuentra el “espacio terrestre”. Esta segunda región astropolítica es el área de funcionamiento de los satélites artificiales y de la Estación Espacial Internacional (EEI), así como de todas las armas espaciales basadas actualmente en el espacio y aquellas previstas hacia el futuro. En su límite inferior es donde se pos-impulsa el vuelo de los misiles balísticos de largo alcance, y en su extremo opuesto, se encuentra el valiosísimo cinturón geostacionario. El valor geoestratégico de esta región reside en el hecho de que es allí en donde se ubican los satélites artificiales que orbitan sobre la humanidad, administrando silenciosamente sistemas básicos que ayudan a los Estados a ser más seguros y productivos.

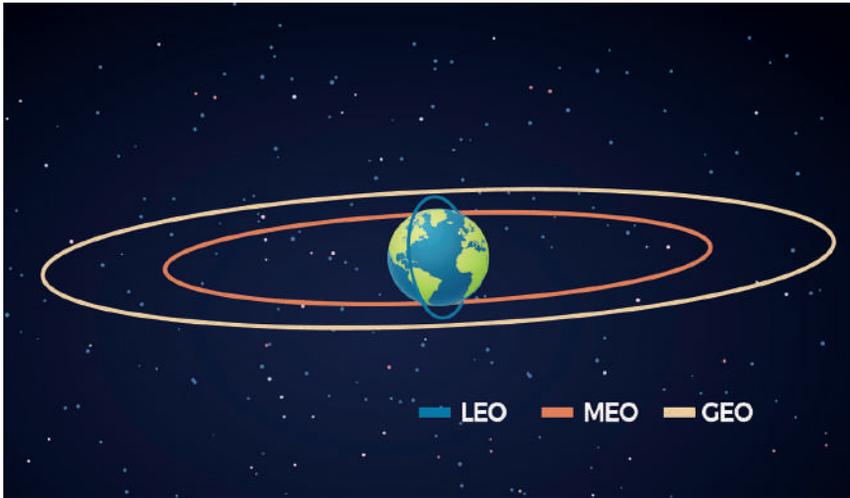
Por ejemplo, su tecnología de entretenimiento y comunicación controla la televisión, los teléfonos y los sistemas de navegación (GPS) utilizados por millones en todo el mundo. Además, muchas transacciones comerciales y financieras utilizan transmisiones satelitales para comprar artículos y servicios y realizar procesos de gestión. Los satélites también desempeñan un papel fundamental en las actividades científicas sensibles al tiempo, como el monitoreo del clima a escala global y la medición de los cambios ambientales, además de proporcionar información valiosa en situaciones de emergencia; del mismo modo, los satélites brindan acceso a educación y experiencia médica, principalmente en los países en desarrollo. Y no menos importante, los servicios satélites apoyan las operaciones militares, mediante la vigilancia, navegación y las comunicaciones seguras.

Cualquier objeto colocado en una órbita estable (a una distancia suficiente del objeto en órbita y con la velocidad del satélite igual a la fuerza de gravedad) debería, en teoría, poder orbitar ese objeto indefinidamente sin la necesidad consumir energía adicional (Chun, 2006). Esta es la razón por la cual el movimiento orbital constituye un tipo preferido de movimiento en el espacio exterior. No debe olvidarse que los cuerpos celestes están orbitando entre sí; la Luna gira alrededor de la Tierra, que gira alrededor del Sol, que gira alrededor del núcleo de la Vía Láctea. Por ende, las órbitas terrestres son recursos naturales, ya que, según Álvarez, Moreno y Gómez (2017b, p. 388):

Un recurso natural sería un bien físico que ofrece la naturaleza, como, por ejemplo, el agua dulce de los ríos, la fauna silvestre o el bosque natural. Asimismo, se consideraría como recurso natural las funciones o servicios de la naturaleza que la sociedad utiliza según sus demandas, como, por ejemplo, la regulación que un bosque proporciona a una cuenca fluvial, evitando su sedimentación; ese carácter regulador de un bosque sería también un recurso natural y no solamente la madera que se obtuviese de él (...). Por lo tanto, un recurso natural sería todo lo que proviene de la naturaleza y que el hombre puede utilizar para satisfacer sus necesidades.

Incluso por su demanda y valor estratégico, que conduce a que estén cada vez más saturadas, las órbitas terrestres serían también un recurso natural estratégico. En efecto, Álvarez, et al. (2017b, p. 388) definen un recurso natural estratégico como “todo recurso natural escaso que actual o potencialmente es vital para el desarrollo de la actividad económica o para el mantenimiento de la calidad de vida de un país”. Por tanto, en este espacio terrestre lleno de “recursos naturales estratégicos”, los satélites artificiales se ubican típicamente en tres regímenes orbitales (figura 17): órbita terrestre baja (LEO), órbita terrestre media (MEO) y órbita geosíncrona (GEO); estos son los activos astroestratégicos más importantes del espacio terrestre.

Figura 17. Principales órbitas del espacio terrestre



Fuente: Adaptado de Harrison, et al. (2019)

4.2.1. Órbita Terrestre Baja (LEO)

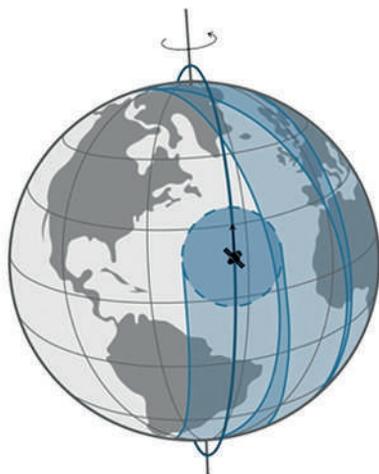
La mayoría de los satélites que orbitan alrededor de la Tierra lo hacen a altitudes entre 160 y 2.000 kilómetros, ya que el 55% de todos los satélites operativos están en LEO. En esta órbita, los satélites suelen tardar entre 90 minutos y dos horas en completar una órbita completa alrededor de la Tierra (Bate, 2000). Las bajas altitudes en combinación con cortos periodos orbitales hacen que los satélites LEO estén idealmente ubicados para misiones de teledetección, incluida la observación y el reconocimiento de la Tierra. Con la excepción de las misiones Apollo, toda la actividad espacial con presencia humana también ha ocurrido en LEO, como la EEI que se ubica a una altitud promedio de unos 350 kilómetros.

Los sistemas satelitales LEO se utilizan principalmente para las comunicaciones de datos¹¹². Orbitan la Tierra a velocidades extremadamente altas (una órbita completa demora aproximadamente 90 minutos) y no están fijos en el espacio en relación con la Tierra. Los satélites LEO

112 Así mismo, la mayoría de los satélites con aplicaciones científicas, incluido el Convoy del Sistema de Observación de la Tierra de la NASA, viajan en una órbita LEO.

tienen vidas muy cortas debido a la fuerza gravitacional más fuerte de la Tierra, y las naves espaciales necesitarían algún tipo de método de propulsión para aumentar su velocidad antes de que su órbita decaiga. Se puede usar cualquier tipo de vehículo de lanzamiento para lanzar satélites a esta órbita. Algunos satélites LEO orbitan de tal manera que pasan (o casi pasan) los dos polos de la Tierra durante la órbita; esta orientación altamente inclinada a baja altitud se llama órbita polar. Debido a la rotación de la Tierra, los satélites en órbita polar pasan sobre una franja vertical diferente de la superficie del planeta en cada revolución (figura 18). Usando un régimen orbital polar, un solo satélite podría observar cada punto de la Tierra dos veces en un día de 24 horas.

Figura 18. Órbita polar en LEO



Fuente: Adaptado de Harrison, et al. (2019)

La órbita polar sincronizada con el Sol es una de las más importantes para el reconocimiento militar y las imágenes meteorológicas. Si se coloca en un movimiento ligeramente de grado retro (mayor de 90° de inclinación), esta configuración permite que los satélites eventualmente vuelen sobre cada punto de la Tierra y permanezcan a la luz del Sol en todo momento, extremadamente importante para las cámaras de satélite que toman imágenes en el espectro de luz visible y para satélites que

requieren acceso solar continuo para obtener energía. Aunque un solo satélite en órbita polar puede observar eventualmente cada punto de la superficie de la Tierra, no puede crear una instantánea de ella; es decir, una imagen compuesta de cada pulgada de la superficie del planeta en un solo momento. Dicha capacidad solo puede completarse en órbita terrestre baja mediante una gran colección de satélites o una constelación de satélites. Las constelaciones satelitales se pueden utilizar para comunicaciones personales, alerta temprana de misiles y sistemas de armas espaciales; por ejemplo, la constelación de satélites Iridium inicialmente desplegó una red de 66 satélites a 780 kilómetros de altitud para garantizar que al menos un satélite estuviese siempre a la vista (figura 19). El sistema ofrecía comunicaciones y posicionamiento global de última generación, pero la empresa finalmente fracasó no debido a problemas técnicos, sino a fallas de mercadeo.

Figura 19. Constelaciones satelitales



Fuente: Adaptado de Harrison, et al. (2019)

En definitiva, cuanto más cerca de la Tierra, más satélites son necesarios para proporcionar una cobertura continua. Los satélites militares en LEO son típicamente satélites de reconocimiento que pueden distinguir los tanques desde una distancia de menos de 200 kilómetros sobre la

Tierra (Dawson, 2018). En consecuencia, es bastante razonable aceptar una cobertura no continua o puntual de áreas de alto interés de forma recurrente. Esta es la función de los satélites de imágenes con calidad de inteligencia; estas naves espaciales pueden tomar imágenes de mayor detalle cuanto más cerca estén del objetivo. Sin embargo, cuanto más detallada es la imagen, menor es la cobertura del área; por ejemplo, tomar una fotografía tan detallada como para distinguir los rasgos faciales de una persona desde una altitud de 145 kilómetros, obligaría a que el campo de visión solo sería de unos pocos metros, en el mejor de los casos. Por ende, cuanto mayor es el detalle, menor es el campo de visión.

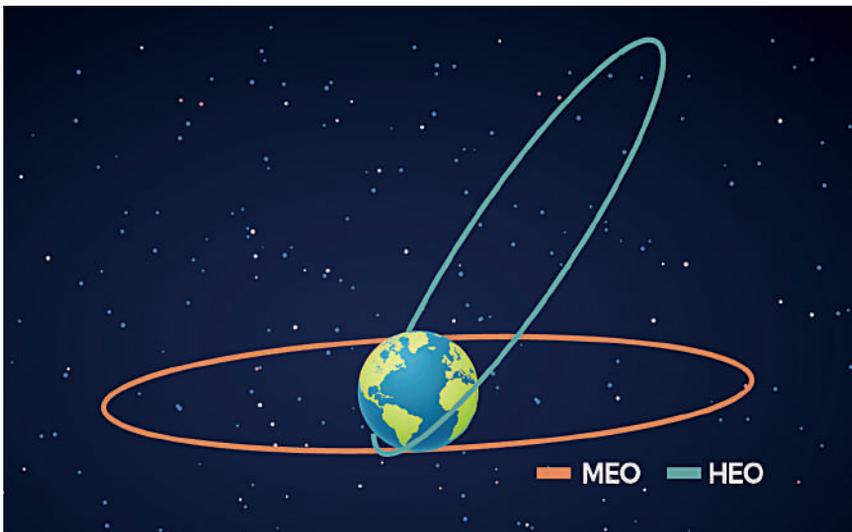
4.2.2. Órbita Terrestre Media (MEO)

Aunque más del 90% de todos los satélites están situados en LEO (menos de 2.000 kilómetros) y GEO (cerca de 36.000 kilómetros), el espacio entre los dos regímenes orbitales puede ser un entorno ideal para un subconjunto más pequeño de sistemas de satélites. Los satélites de MEO (entre 2.000 a 35.780 kilómetros de altitud), incluyen satélites de navegación y otros satélites especiales destinados a vigilar o enfocar las comunicaciones sobre una región específica en la superficie de la Tierra; tienen huellas más grandes que los satélites LEO (lo que significa que pueden ver más superficie de la Tierra a la vez), así como tiempos de transmisión más bajos que los satélites GEO (lo que significa que tienen un retraso de señal más corto porque no están tan lejos). No obstante, una de las razones por la que hay menos satélites en MEO, que, en LEO o GEO, es la presencia de los cinturones Van Allen; dos regiones en forma de rosquilla que rodean la Tierra, centradas en su eje polar, donde el campo magnético de la Tierra atrapa partículas cargadas de los vientos solares y los rayos cósmicos, que pueden dañar los sistemas electrónicos a bordo de los satélites. Los entornos de alta radiación también pueden dañar los paneles solares que convierten la energía en electricidad para alimentar satélites después de que hayan alcanzado su órbita deseada. El cinturón interior se extiende desde aproximadamente 500 kilómetros hasta 5.500 kilómetros en el ecuador, y el cinturón exterior se extiende desde 12.000 kilómetros hasta 22.000 kilómetros (Doboš, 2019). Es por

ello que los satélites en estas regiones deben equiparse con blindaje para reducir el riesgo de daños durante su vida útil operativa.

Aunque muchas de las órbitas discutidas anteriormente asumen una trayectoria circular o casi circular alrededor de la Tierra, algunos satélites están situados de tal manera que orbitan la Tierra en una trayectoria elíptica oblonga, llamada órbita altamente elíptica (HEO). Mientras que un satélite en una órbita circular inclinada pasa la misma cantidad de tiempo en los hemisferios norte y sur, el satélite en HEO inclinada gasta una porción significativamente mayor de su órbita sobre un hemisferio que en el otro (figura 20), debido a la segunda ley de movimiento planetario de Kepler.

Figura 20. Órbitas MEO y HEO



Fuente: Adaptado de Harrison, et al. (2019)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es una constelación de 24 satélites, con cada satélite en MEO circular con una altitud de aproximadamente 20.000 kilómetros. La constelación está orientada de tal manera que, en cualquier momento dado, cada punto de la Tierra tendrá acceso a cuatro satélites GPS. Un ejemplo de una órbita altamente elíptica es una órbita de Molniya; estas órbitas tienen una inclinación de

63.4°, un apogeo de aproximadamente 40.000 kilómetros y un perigeo de aproximadamente 1.000 kilómetros (Doboš, 2019). Molyniya era un sistema satelital de comunicaciones militares utilizado por la Unión Soviética que orbitaba en esta zona. Los ingenieros rusos querían usar una órbita que consumiera menos energía y fuera más adecuada para las comunicaciones que la órbita geoestacionaria favorecida por los Estados Unidos. Como una órbita geoestacionaria está estacionada sobre el ecuador, que no permite la vigilancia en más áreas del norte o sur de interés, los astroestrategas rusos sugirieron una elipse alargada cuyo apogeo (o el punto más alto), estaría sobre el hemisferio norte, proporcionando una visión casi ininterrumpida del territorio ruso. Dado que tanto Estados Unidos como Rusia se encuentran en el hemisferio norte, las órbitas de Molniya fueron ideales para el reconocimiento en la Guerra Fría, ya que, durante la mayoría de sus periodos, los satélites en la órbita de Molniya observan principalmente el hemisferio norte de la Tierra. (Dawson, 2017)

4.2.3. Órbita Terrestre Geosíncronica (GEO)

El periodo orbital de un satélite (tiempo que tarda en orbitar la Tierra una vez), depende de su altitud orbital. Los satélites en LEO, como la EEI, tardan unos 90 minutos en orbitar la Tierra; los satélites en MEO tardan aproximadamente 12 horas en hacer lo mismo. Sin embargo, los satélites que orbitan a una altura de 35.786 kilómetros tienen un periodo exactamente igual a un día terrestre. Los satélites en esta órbita, conocida como órbita terrestre geosíncrona (GEO), observan la Tierra como si no estuvieran girando; debido a esta propiedad, los satélites en GEO están constantemente en el campo de visión de aproximadamente un tercio de la superficie del planeta. Por ello, y mientras que alrededor del 55% de todos los satélites operativos están en LEO, otro 35% está en GEO, lo que lo convierte en el segundo régimen orbital más popular.

La mayoría de las redes de comunicaciones de video y televisión utilizan satélites geoestacionarios, ubicados por encima de un punto en el ecuador de la Tierra y demoran 24 horas en completar una rotación. Este tipo de satélite orbita a la misma velocidad que gira la Tierra, manteniéndola estacionaria sobre un único punto longitudinal. Cuanto más

lejos esté la órbita de un satélite de la superficie de la Tierra, más lenta se desplazará la nave espacial y más estable será su órbita en términos de longevidad. Los satélites meteorológicos a menudo se colocan en órbitas sincrónicas solares, donde su orientación es estacionaria en relación con el Sol durante todo el año, haciendo posible predicciones meteorológicas precisas. La mayoría de los satélites en GEO no tienen inclinación, lo que significa que orbitan directamente sobre el ecuador de la Tierra¹¹³.

Los satélites con estas propiedades se denominan geoestacionarios, ya que desde cualquier punto de la Tierra aparecen exactamente en el mismo punto del cielo en cualquier momento dado; los satélites geoestacionarios son populares para las comunicaciones y la radiodifusión. Empero, la órbita geoestacionaria (con una longitud de 263.957 kilómetros), está significativamente más lejos de la Tierra que LEO o MEO; mientras que, para los satélites ubicados en LEO, el tiempo que tarda una señal en transmitirse desde el suelo a un satélite y viceversa es de aproximadamente 0.003 segundos, para un satélite en GEO, ese retraso aumenta a 0.25 segundos, lo que requiere control de eco y consideraciones de retraso de tiempo que son más insignificantes para las órbitas de menor altitud (Doboš, 2019). Algunos ejemplos de satélites en GEO incluyen los satélites de comunicaciones Intelsat y los satélites de transmisión directa DISH Network.

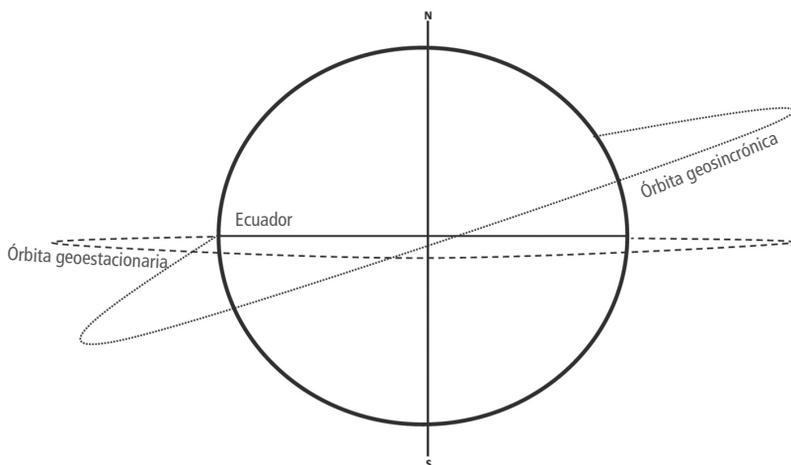
La órbita semisíncrona es casi circular, a 20.277 kilómetros sobre la superficie de la Tierra. Un satélite a esta altitud tarda 12 horas en dar la vuelta al globo, por lo que, en 24 horas, el satélite en la órbita semisíncrona atraviesa diariamente las mismas dos ubicaciones en el ecuador. Esta es la órbita más utilizada por los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), una red de satélites de navegación compuesta por al menos 24 satélites. A principios de la década de 1970, el Departamento

113 La mayoría de los satélites orbitan en la misma dirección que la rotación de la Tierra. Y debido a las irregularidades en el campo gravitacional del planeta, los satélites orbitan alrededor del preceso de la Tierra con el tiempo, lo que significa que el plano orbital gira lentamente alrededor de uno de sus ejes. Cuando la precesión de una órbita satelital se alinea con la rotación de la Tierra alrededor del Sol, el satélite está en órbita heliosíncrona (SSO). Cuando los satélites en SSO pasan sobre un punto dado en la Tierra, lo observan a la misma hora local en cada órbita; tales condiciones son ideales para los sistemas de imágenes de la Tierra. Algunos SSO están orientados de tal manera que los paneles solares del satélite están constantemente orientados hacia el Sol, lo que disminuye su dependencia de las baterías a bordo. Los satélites en SSO también pueden estar en LEO o MEO.

de Defensa de Estados Unidos quería un sistema de navegación por satélite estable y resistente para uso militar, para lo que lanzaría su primer sistema de navegación con el satélite Timing and Ranging (NAVSTAR) en 1978, disponible para uso civil en la década de 1980. No obstante, el sistema entró en pleno funcionamiento en 1993. Hoy, su legado es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), el cual se ha convertido en un sistema de navegación por radio de usos múltiples, propiedad del gobierno de Estados Unidos y operado por la Fuerza Aérea de dicho Estado (Dawson, 2018). Su propósito es ayudar en la seguridad y defensa nacional, junto con las necesidades domésticas, comerciales y científicas.

La diferencia clave entre los satélites geoestacionarios y geosíncronos es que éstos últimos tienen una inclinación diferente a los de la órbita geoestacionaria (figura 21). Cuando los satélites geoestacionarios se acercan al final de su esperanza de vida, el protocolo establece que deben maniobrarse a una altitud ligeramente diferente para dejar espacio a un nuevo satélite a fin de reemplazar esa ranura, ya que hay ubicaciones específicas en esa órbita que garantizan que los satélites funcionen sin interferencias.

Figura 21. Órbitas geoestacionaria y geosíncrona



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, los primeros 150 a 2.000 kilómetros sobre la superficie de la Tierra son especialmente útiles para la observación de la Tierra y las misiones de vuelo tripulado; estas órbitas también permiten el uso de cohetes más baratos y menos sofisticados. Las órbitas entre 2.000 a 35.000 kilómetros se usan típicamente para redes satelitales vinculadas de telecomunicaciones y navegación. Las de 35.000 kilómetros son ideales para comunicaciones globales y satélites meteorológicos, ya que los satélites orbitan la Tierra solo una vez al día y la cobertura combinada de tres satélites proporciona un acceso estable y continuo.

Las funciones específicas de diferentes espacios orbitales tienen una importancia crucial para fines civiles, gubernamentales y militares. Como regla física, las órbitas con mayores altitudes en el espacio son más estables, y los cuerpos en órbita parecen viajar más lentamente en relación con los cuerpos que orbitan en altitudes más bajas. Sin embargo, esto no significa necesariamente que las órbitas más altas sean más deseables, ya que mientras las órbitas más altas son ventajosas para vistas de campo más amplias, las órbitas más bajas proporcionan vistas de primer plano y detalladas de la Tierra, ayudando al mantenimiento de enlaces de comunicaciones concentrados de baja difusión. Las órbitas circulares o de altitud constante son las más adecuadas para misiones continuas, como aquellas llevadas a cabo por la EEI, y las órbitas excéntricas son mejores para misiones que requieren conducta en puntos críticos de la órbita.

De este modo, los vastos recursos orbitales del espacio terrestre representan el equivalente del *heartland* del modelo astropolítico; por consiguiente, el control de esta segunda región astropolítica no solo garantiza el control a largo plazo de los confines exteriores del espacio, sino que proporciona una ventaja estratégica en el campo de batalla terrestre. Desde la alerta temprana y la detección de movimientos de misiles y fuerzas militares, hasta la planificación de objetivos y la evaluación de daños de batalla, los activos de recolección de inteligencia basados en el espacio ya han demostrado ser legítimos multiplicadores de fuerzas de combate¹¹⁴ (Dolman, 2005). Por ello, la mayoría de los

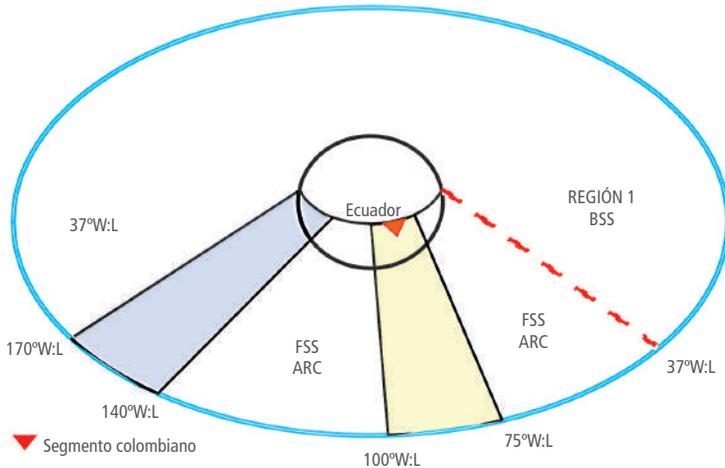
114 Sin embargo, las contribuciones más sorprendentes a las fuerzas militares han sido los satélites de navegación, comunicaciones y predicción meteorológica.

Estados industrialmente avanzados reconocen en la actualidad el poder espacial militar como la cúspide de la seguridad multidimensional, y han dejado de lado las objeciones de larga data a los programas espaciales militares, mientras persiguen con entusiasmo sus propias infraestructuras espaciales.

Con base en lo anterior, el segundo imperativo astropolítico de Colombia sería extenderse al espacio terrestre, buscando satisfacer los requerimientos de la seguridad multidimensional del país. La astroestrategia para lograrlo es simple, aunque no sencilla: ocupar con satelitales de observación y comunicación las órbitas LEO y GEO. De las dos clases de órbita, urge situar un satélite en la órbita geoestacionaria, ya que su valor estratégico radica en que es el único lugar en el espacio terrestre en el que se pueden colocar satélites de cobertura y global larga duración; es por ello por lo que sus posiciones orbitales (slots) son de alto valor socioeconómico, político, militar y cultural, particularmente por la explotación del espectro electromagnético, en sus frecuencias inferiores a 3.000 GHz (longitudes de onda superior a los 100 micrones). De acuerdo con Rodríguez (2006, p. 57), “el recurso órbita espectro es un depósito de valores de las telecomunicaciones, así como los recursos petrolíferos son depósitos de valores hidrocarburos”.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) lo reconoce como un recurso natural limitado, con base en el restringido número de satélites que se pueden colocar allí. Por último, satisfacer el segundo imperativo astropolítico con una presencia satelital en la órbita geoestacionaria lograría cumplir una tarea pendiente de ejercicio de la soberanía territorial de Colombia (figura 22).

Figura 22. Arco orbital geosincrónico



Fuente: adaptada de Rodríguez (2006)

En efecto, Colombia protocolizó constitucionalmente derechos especiales de soberanía sobre el segmento suprayacente de la órbita, correspondiente a la longitud del ecuador terrestre entre los 70 y 75 grados al oeste de Greenwich (aproximadamente)¹¹⁵:

Artículo 101°. Los límites de Colombia son los establecidos en los tratados internacionales aprobados por el Congreso, debidamente ratificados por el Presidente de la República, y los definidos por los laudos arbitrales en que sea parte la Nación. Los límites señalados en la forma prevista por esta Constitución sólo podrán modificarse en virtud de tratados aprobados por el Congreso, debidamente ratificados por el Presidente de la República. Forman parte de Colombia, además del territorio continental, el archipiélago de San Andrés, Providencia, Santa Catalina e isla de Malpelo, además de las islas, islotes, cayos, morros y bancos que le pertenecen. También son parte de Colombia, el subsuelo, el mar territorial, la zona contigua, la plataforma continental, la zona económica exclusiva, el espacio aéreo, el

115 Sus coordenadas son 70°04'38" oeste (aprox.) 75°45'15" oeste (aprox.). Tiene una longitud de arco de 631 kilómetros. El arco sobre la órbita geostacionaria en grados es de 54°0'37". la longitud de arco geostacionario en kilómetros es de 4.171,36 y el porcentaje del segmento sobre el total de la órbita geostacionaria es de 1.57% (Rodríguez, 2006).

segmento de la órbita geoestacionaria, el espectro electromagnético y el espacio donde actúa, de conformidad con el derecho internacional o con las leyes colombianas a falta de normas internacionales (Asamblea Nacional Constituyente, 1991).

La moderna proyección del poder solo es posible mediante el despliegue y el uso de activos basados en el espacio. Las fuerzas aéreas, terrestres y marítimas dependen de los satélites para comunicaciones, navegación e inteligencia; sin ellos, la capacidad cualquier fuerza militar se vería seriamente comprometida. Por ello es esencial que Colombia cuente con sus propios satélites, tanto para salvaguardar la seguridad e integridad del territorio y su población, como también para garantizar que la economía colombiana no se quede rezagada de las dinámicas internacionales altamente dependientes de las aplicaciones espaciales. Por ello, es en la órbita geoestacionaria en donde la mayoría de los intereses deberían encontrarse en materia de una política espacial colombiana.

4.3. Tercera región astropolítica: el espacio lunar

Es la región entre la órbita geoestacionaria a un poco más allá de la órbita lunar. En dicha región se encuentra el cuerpo celeste más cercano a la Tierra, y su presencia y proximidad juegan un papel muy importante para las condiciones naturales de la primera y segunda región astropolítica. En efecto, el tirón gravitacional de la Luna estabiliza la oscilación de la Tierra sobre su eje, lo que permite un clima estable; además, las mareas en los océanos de la Tierra ocurren debido también a la atracción gravitacional de la Luna¹¹⁶.

La órbita de la Luna alrededor de la Tierra es elíptica; en el perigeo (su aproximación más cercana), la Luna se acerca a 363.104 kilómetros de la Tierra, mientras que en el apogeo (la más alejada), está a 405.696 kilómetros de la Tierra.

116 La Luna es una influencia importante en las mareas de la Tierra, pero el Sol también genera considerables fuerzas de marea; las mareas solares son aproximadamente la mitad de grandes que las mareas lunares.

La Luna está en rotación sincrónica con la Tierra, por lo que gira sobre su eje en aproximadamente la misma cantidad de tiempo que tarda en girar alrededor de la Tierra (27 días, 8 horas), es decir, un mes sideral. Un mes lunar, también llamado mes sinódico, es el tiempo que tarda la Luna en completar un ciclo lunar (Luna llena a Luna llena); éste es de aproximadamente 29 días y 13 horas. Hoy, la Luna se aleja de la Tierra a una relación de aproximadamente cuatro centímetros por año, por lo que estaría 18 veces más lejos desde cuando se formó hace 4.500 millones de años. Este alejamiento se debe a que la fricción entre la superficie de la Tierra y la enorme masa de agua que está sobre ella hace que, con el tiempo, la Tierra gire un poco más lentamente sobre su eje.

Por cada acción hay una reacción igual y contraria; esta es la tercera ley de Newton. Como la Tierra y la Luna están unidas gravitacionalmente, entonces, a medida que el movimiento de la Tierra se ralentiza, se acelera el de la Luna; y, cuando algo que está en órbita se acelera, esta aceleración lo empuja hacia afuera. El que la Luna se aleje afecta a la Tierra de varias maneras. Por empezar, a medida que la Tierra gira más lentamente, los días se tornan más largos (a razón de dos milisegundos cada cien años); por otra parte, los inviernos serán mucho más fríos y los veranos mucho más cálidos. Y si la fuerza de gravedad de la Luna se torna más leve, las mareas en la Tierra ya no serán tan marcadas. No obstante, la Luna nunca se escapará de la Tierra; incluso, si la Tierra continuara ralentizándose, girará a la misma velocidad a la que orbita la Luna¹¹⁷. Pero, mucho antes de que esto ocurra, el Sol se expandirá hasta convertirse en un gigante rojo y se tragaría en el proceso a la Tierra y su satélite.

En promedio, la distancia de la Tierra a la Luna es de aproximadamente 384.400 kilómetros, lo que significa que 30 planetas del tamaño de la Tierra podrían caber entre ambas. Una variedad de factores determina cuánto tiempo se tarda en llegar a la Luna, ya que las misiones tripuladas, por ejemplo, tienden a tomar más tiempo que los satélites sin pasajeros; además, si un objeto se detiene o no en la Luna también entra dentro de las consideraciones. La Unión Soviética lanzó la primera

117 En dicho momento, la Tierra y la Luna llegarán a un equilibrio y la Luna dejaría de alejarse.

misión a la Luna en 1959, con la sonda Luna 1; sin un sistema de propulsión, este satélite sólo tomó 34 horas de vuelo para hacer el viaje, por lo que sigue siendo uno de los viajes más rápidos a la Luna¹¹⁸. La NASA envió ocho misiones tripuladas de Apolo a la Luna, seis de las cuales aterrizaron con éxito. Apolo 8 fue la primera misión en orbitar otro cuerpo y el infame desastre del Apolo 13 solo resultó en un viaje alrededor de la Luna; cada uno pasó unos tres días viajando por el espacio. Apolo 8 tardó 69 horas y 8 minutos en entrar en órbita alrededor de la Luna, mientras que el famoso viaje del Apolo 11 tardó 75 horas y 56 minutos en entrar en órbita alrededor de la Luna. Sin embargo, mucho antes de que entraran en órbita, ambas naves espaciales entraron en la esfera de influencia de la Luna, una región a 62.630 km de la Luna. Para el Apolo 11, esto ocurrió después de 61 horas y 56 minutos, mientras que para el Apolo 8 solo tomó 55 horas y 40 minutos.

En 2003, la ESA lanzó Smart-1 (la primera nave espacial europea exitosa a la Luna), pero en lugar de recorrer un camino directo, giró en espiral alrededor de la Tierra para llegar a la Luna, llegando más de un año después del lanzamiento. En lugar de propulsor, Smart-1 hizo el primer uso de un motor de iones, en combinación con maniobras de asistencia por gravedad, lo que lo hizo extremadamente eficiente en cuanto al consumo de combustible¹¹⁹. Pero el viaje más rápido a la Luna fue el de la sonda New Horizons, que pasó por la Luna en 2006 en solo ocho horas y 35 minutos; la nave espacial ni siquiera se desaceleró ni se acercó a la órbita lunar, sino que se dirigió rápidamente hacia Plutón.

4.3.1. Astrografía de la Luna

El material con el que se creó la Luna probablemente fue parte del mismo cuerpo que ahora es la Tierra. La teoría más destacada de la creación lunar, llamada Theia, propone que, durante el proceso de creación del Sistema Solar, la Tierra fue golpeada por un cuerpo del tamaño de Marte que se formó en los puntos cuatro o cinco de Lagrange del sistema

118 Después de su sobrevuelo, el satélite entró en órbita alrededor del Sol, entre las órbitas de la Tierra y Marte.

119 El camino extendido proporcionó una visión significativa del sistema Tierra-Luna.

Tierra-Sol. A lo largo del tiempo, este cuerpo se volvió lo suficientemente masivo como para escapar del punto de libración (los efectos gravitacionales ya no podían mantenerlo en una posición estable), golpeando la proto-Tierra y provocando una colisión masiva que expulsó el material que luego formó la Luna. Es debido a eso que Crotts (2014) llama a la Luna el “continente inexplorado de la Tierra”. (p. 9)

La masa de la Luna es 73 millones de trillones de toneladas aproximadamente, es decir, 50 veces la masa de los océanos de la Tierra, pero solo el 1.2% de la masa de la Tierra en su conjunto (Morton, 2019). Si se rebanara la Tierra directamente a 55° S (el paralelo que pasa por el extremo sur de América del Sur), la tapa del extremo de un “huevo” que se cortaría a 840 kilómetros de profundidad y 7.000 kilómetros de ancho, tendría aproximadamente la misma masa que la Luna. Eso es menor que la masa de cualquiera de los planetas del Sistema Solar (es una décima parte de la masa de Marte), así como de tres de las cuatro lunas galileanas de Júpiter (Ganímedes, Io y Calisto)¹²⁰, y de Titán (la luna más grande de Saturno); pero esas lunas representan solo una pequeña fracción de la masa de los poderosos planetas que orbitan (aproximadamente cinco milésimas), en comparación con la octava parte de la Luna de la Tierra.

Al menos el 95% de la masa de la Luna es roca, siendo más de cinco veces la masa del planeta enano Plutón y unas 25 veces la masa de todos los asteroides en el cinturón de asteroides juntos. Una pequeña cantidad de la masa rocosa de la Luna forma una costra, que tiene un grosor de unos 40 kilómetros en promedio; el resto forma un manto subyacente. El núcleo de hierro de la Luna (si es que tiene uno), sería menos de una vigésima parte de la masa de toda esa roca. El núcleo no tendría más de 300 kilómetros de ancho y es, sobre todo, quizás completamente sólido; a diferencia del núcleo de hierro de la Tierra, que representa el 30% de la masa del planeta y está mayormente fundido. Cualquier núcleo que tenga la Luna no produce nada perceptible por medio de un campo

120 Europa es la cuarta luna galileana de Júpiter. Estas cuatro lunas son llamadas galileanas porque fueron vistas por primera vez en 1610 por el astrónomo Galileo Galilei. Júpiter tiene por lo menos 79 lunas conocidas.

magnético y, para casi todos los propósitos prácticos, la Luna no tiene atmósfera en absoluto.

Un día lunar (periodo de una rotación completa del cuerpo alrededor de su eje), dura 27,3 días terrestres. En consecuencia, la mayoría de los lugares en su superficie están expuestos la mitad del tiempo a la sombra y la otra mitad a la luz solar directa. Por ello, La Luna tiene una gran variabilidad térmica: si durante el día una gran parte de su superficie puede alcanzar los 104° C, durante la noche la temperatura se desploma; como al interior de algunos cráteres lunares nunca llega la luz solar, permanecen en una eterna oscuridad y jamás suben de los -240° C¹²¹. Sin embargo, la Luna no tiene diferencias significativas entre las estaciones, por lo que los polos lunares albergan áreas permanentemente sombreadas (APA), con temperaturas cercanas al cero absoluto y regiones iluminadas permanentemente (Crotts, 2014).

La superficie lunar es de 37,9 millones de kilómetros cuadrados, aproximadamente una cuarta parte de la superficie de los continentes de la Tierra (Rukl, 2004). Eso la hace más pequeña que Asia, un poco más grande que África y significativamente más grande que todos los demás.

Un túnel recto entre los polos de la Luna tendría una longitud de 2,474 kilómetros, una distancia similar que un túnel desde Bogotá a Lima (Perú). Una carretera alrededor del ecuador lunar tendría 10.921 kilómetros de largo, equivalente a conducir desde Bogotá a Moscú. Alrededor del 17% de su superficie está compuesta de llanuras oscuras llamadas maria: el plural de mare, que en latín significa “mar”¹²²; casi

121 En estos cráteres se han encontrado bloques de hielo de cientos de millones de años, que podrían utilizarse no sólo como fuente de agua, sino también de hidrógeno y oxígeno.

122 El sistema actual de nomenclatura lunar descende del astrónomo jesuita Riccioli, quien en 1651 agregó nombres a las características representadas en un mapa lunar realizado por su alumno Grimaldi. Riccioli usó nombres latinos para la maria que reflejaba la idea de que la Luna influía en el clima de la Tierra. Por tanto, hay maria frigoris (mar de frío), humorum (humedad), imbrium (lluvias) y nubium (nubes). Algunos otros fueron nombrados por estados mentales: serenitatis (serenidad), tranquillitatis (tranquilidad) y crisiium (crisis), así como de otras cosas (nectaris del néctar). Riccioli nombró cráteres en honor a famosos astrónomos, con los antiguos griegos en el norte y los científicos más recientes hacia el sur. No siendo modesto, colocó su nombre y el de Grimaldi en grandes cráteres cerca de la extremidad occidental. Desde la época de Riccioli, se han agregado muchos más nombres a la Luna, de modo que ahora hay aproximadamente 1.240 en la cara visible a la Tierra y otros 690 en la cara oculta. La Unión Astronómica Internacional ha asignado nombres a las características lunares durante más de 80 años, con el requisito de que la persona conmemorada sea un científico prominente que lleve muerto al menos tres años. Hay muchos más cráteres en la Luna que merecen un nombre, por lo que muchos

todas estas llanuras están en el lado visible a la Tierra¹²³.

La más grande, en el oeste, es Oceanus Procellarum, el “océano de las tormentas”; es la mitad del tamaño del desierto del Sahara. Arriba se encuentra Mare Imbrium, que cubre unos dos millones de kilómetros cuadrados, un área aproximada del tamaño marítimo y continental de Colombia.

Al este de Imbrium se encuentra Mare Serenitatis, del tamaño de Texas, que cede directamente al Mare Tranquillitatis, un poco más grande del tamaño de la superficie terrestre de Colombia. Otras dos ramas de maria menos circulares frente a Tranquillitatis son el Mare Nectaris y Mare Fecunditatis. Mare Crisium, el “mar de las crisis”, se encuentra al norte de dos últimas llanuras (figura 23). Existen, sin embargo, gigantescos cráteres o circos lunares mayores que los del otro hemisferio, pudiéndose encontrar algunos como Apolo, de hasta 520 km de diámetro.

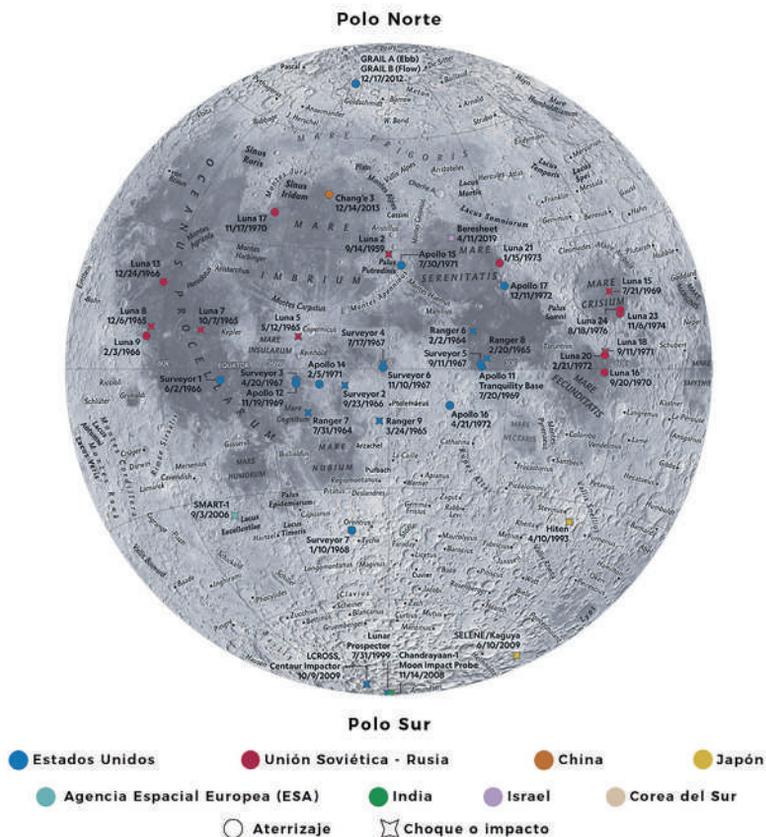
Al otro lado de la Luna, el lado que la Tierra nunca ve, solo hay dos pequeñas llanuras: Mare Muscoviense y Mare Ingenii, los mares de “Moscovia” y la “inteligencia”; cubren un área un poco más grande que la de las dos islas de Nueva Zelanda (figura 24). Las partes más brillantes de la Luna se llaman las “tierras altas” (highlands).

Donde se encuentran con la maria, a menudo hay cadenas montañosas, en su mayoría con nombres de contrapartes en la Tierra; los que rodean Mare Imbrium son Montes Alpes, Montes Jura, Montes Carpatius, Montes Caucasus y Montes Apenninus.

solo tienen designaciones de letras; por tanto, los cráteres cerca de Copérnico pueden ser Copérnico A, Copérnico B, etc.

123 La cara visible de la Luna es el hemisferio que está permanentemente orientado hacia la Tierra, siendo el hemisferio opuesto la cara oculta de la Luna. La razón por la cual desde la Tierra solo es visible esta cara de la Luna es debido a que la Luna gira en torno a su eje de rotación a la misma velocidad a la cual orbita alrededor de la Tierra. A la cara oculta de la Luna se le suele llamar el “lado oscuro”, pero esto es incorrecto ya que no hay sección de la Luna que no reciba luz solar. Debido a las libraciones (conjunto de movimientos de oscilación que presenta el disco de la Luna con respecto a un observador ubicado en la Tierra), desde la Tierra solo se oculta el 41% de la superficie lunar (es decir unos 15.5 millones de kilómetros cuadrados).

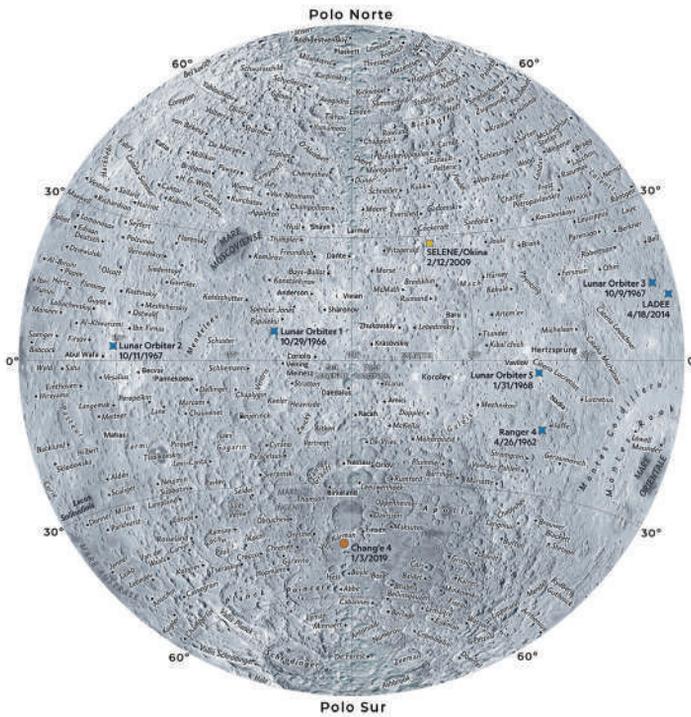
Figura 23. Cara visible de la Luna



Fuente: Adaptada de National Geographic (2006)

Los Apeninos tienen 400 kilómetros de extensión y son quizás los más impresionantes, ya que sus picos se elevan hasta cinco kilómetros por encima de las llanuras no lluviosas; son de estatura similar a las montañas Rwenzori en África Oriental, conocidas en la antigüedad como las “Montañas de la Luna” (Morton, 2019). La característica más llamativa de las tierras altas, cuando la Luna está llena, es el cráter Tycho, en las tierras altas del sur del lado cercano; es el nexo de un estallido estelar de “rayos” lineales brillantes que se extiende por la mitad del hemisferio. Tycho es probablemente el más joven, de unos 100 millones de años; data de un momento en que, en la Tierra, la grieta que creó el Atlántico acababa de comenzar a sacar a América del Sur de lo que ahora es la Bahía de Benin.

Figura 24. Cara oculta de la Luna



Fuente: Adaptada de National Geographic (2006)

También hay cráteres brillantes en algunos de los maria, como Copérnico, al sur de Mare Imbrium, aunque el más brillante de todos es Aristarco, en Oceanus Procellarum. Copérnico tiene aproximadamente 800 millones de años, lo que lo hace más viejo que todos los animales fosilizados de la Tierra, y sigue siendo en términos de geología lunar, una estructura reciente. La mayoría de los maria son cuatro veces más antiguos que Copérnico, y las tierras altas son aún más antiguas, con más de cuatro mil millones de años.

La teoría Theia explicaría por qué la Luna tiene una composición geológica casi idéntica a la de la Tierra, ya que todos los minerales presentes en ella (sin mencionar aquellos en posibles asteroides ubicados en la superficie lunar), también están presentes en la Tierra (Crotts, 2014). La superficie lunar está creada en gran parte por oxígeno unido

en minerales a otros elementos como silicio, aluminio y magnesio, y con cantidades presentes más pequeñas de titanio y magnesio (Brearley, 2006). Tanto la corteza lunar como la terrestre están compuestas principalmente de silicatos, y el mineral no silicato de mayor disponibilidad en la superficie lunar es la ilmenita, que es una fuente potencialmente valiosa de titanio (Klinger, 2017).

La Luna probablemente tiene también importantes reservas de agua. Primero, hay estimaciones de que el agua podría estar presente en grandes cantidades, principalmente en las APS ubicadas alrededor de los polos lunares (Brearley, 2006; Spudis, 2009; Crofts, 2014). Sin embargo, estos depósitos de agua ubicados en los polos representan un desafío importante para su disponibilidad, ya que la extracción de agua de las APS (caracterizadas por temperaturas extremadamente bajas), requeriría tecnologías que puedan operar en entornos con diferencias considerables en los niveles de calor. Además, el agua en los polos lunares probablemente esté contaminada, por lo que necesitaría purificarse antes de poder usarse (Crofts, 2014); otra probable fuente de agua es el agua subterránea, que posiblemente se encuentra en varios lugares. Lo cierto es que la presencia de agua en la Luna y su disponibilidad es crucial por varias razones: la primera, la necesidad de los organismos terrestres del consumo de agua; la segunda, el posible uso del agua como combustible para cohetes (al descomponerlo en oxígeno e hidrógeno), por lo que esta posibilidad convierte el agua en uno de los recursos críticos para la futura emancipación de la humanidad al resto del Sistema Solar. En efecto, los cuerpos celestes con fuentes de agua probablemente tendrán un papel esencial como estación de repostaje. Luego, hay otros posibles usos del agua (Messerli, 2016): extracción de oxígeno para la respiración, producción de energía, como aditivo para el concreto lunar o como capa de protección contra la radiación cósmica, por lo que acceder al almacenamiento de agua lunar mejoraría las capacidades de construir asentamientos lunares (la ubicación del asentamiento lunar se verá afectada en gran medida por la presencia de agua extraíble en sus alrededores).

4.3.2. *Astropolítica del espacio cislunar*

La Luna ha ocupado un lugar destacado en cualquier plan de vuelo espacial humano más allá de la órbita terrestre baja, como fue en el caso de Estados Unidos, y parece serlo para la República Popular China, que viene denotando la previsión y la voluntad de tomar la iniciativa en la actualidad. Y no es para menos, ya que el valor de la Luna reside en tres atributos principales (Spudis, 2016): está cerca, es interesante y es útil.

4.3.2.1. La proximidad lunar. Con relación al primer atributo, y a diferencia de la mayoría de los otros destinos espaciales, la Luna es la compañera en el espacio de la Tierra; el sistema Tierra-Luna orbita alrededor del Sol como un solo planeta. Por tanto, la Luna siempre es accesible desde la Tierra; esto está en marcado contraste con otros objetivos de la cuarta región astropolítica, como los planetas y los asteroides del Sistema Solar, todos los cuales tienen órbitas solares independientes, siendo accesibles de manera óptima solo durante ciertos cortos periodos de tiempo llamados “ventanas de lanzamiento”. En el caso de Marte, las buenas ventanas de lanzamiento son aquellas que requieren la cantidad mínima de energía para la transferencia (expresada como “Delta-V” o cambio en la velocidad)¹²⁴, las cuales ocurren aproximadamente cada 26 meses. Otros objetivos, como los asteroides cercanos a la Tierra, pueden tener ventanas más frecuentes separadas por meses pero que duran solo unas pocas horas o días.

124 En términos de navegación espacial, una medida importante es el esfuerzo de propulsión requerido para cambiar un vector de velocidad, o la velocidad total requerida para llegar del punto A al punto B. El esfuerzo de velocidad total (también llamado Δv o Delta V), es la clave para comprender la realidad de los viajes espaciales y el movimiento eficiente de naves, personas o mercancías. En otro ejemplo de distancia efectiva en el espacio versus distancia lineal, es mucho más barato en términos de Δv propulsar una nave espacial de la Luna a Marte (56 millones de kilómetros en el punto orbital más cercano), que propulsar la misma nave espacial de la Tierra a la Luna (solo 385.000 kilómetros). Por tanto, el Δv para pasar de la órbita terrestre baja (una órbita justo por encima de la atmósfera), a la órbita lunar, es de 4.100 metros por segundo, que es solo 300 metros por segundo más que ir a la órbita geosíncrona. De hecho, la mayor parte del esfuerzo de los viajes espaciales se gasta en llegar a 100 kilómetros de altitud de la Tierra, es decir, alcanzar la órbita terrestre baja. Un dato aún más revelador, es que pasar de la órbita terrestre baja a la órbita lunar toma alrededor de cinco días, pero requiere menos de la mitad del esfuerzo necesario que para ir desde la superficie de la Tierra a la órbita baja. Por esto, ciertos puntos muy separados en distancia (y tiempo), están bastante juntos en términos del esfuerzo de propulsión requerido para moverse de uno a otro. (Dolman, 2005).

Por el contrario, la Luna siempre está disponible; si bien hace 50 años, los lanzamientos de las misiones Apolo se programaron dentro de ventanas de lanzamiento muy estrechas (Heiken, Vaniman y French, 1991), porque el módulo lunar tenía que aterrizar en la Luna en las primeras horas de la mañana (cuando las sombras proyectadas hacen que el relieve de la superficie se destaque claramente), uno de los primeros elementos que se colocará en un puesto de avanzada lunar en el futuro será un faro en la superficie, es decir, un dispositivo de radio que permita a las futuras naves aterrizar completamente a “ciegas” en cualquier momento del día o de la noche lunar. En consecuencia, las salidas y llegadas se realizarán por conveniencia, con un cronograma impuesto no por la mecánica celeste sino por los horarios operativos de los administradores del sistema de vuelo; una serie de radiobalizas permitiría el desarrollo de un sistema de vuelo completamente automatizado, uno que podría transportar mercancías y personas entre la Tierra y un puesto avanzado lunar.

Se puede acceder a la Luna a través de muchos enfoques orbitales diferentes. Las rutas directas, que requieren la cantidad máxima de cambio de velocidad (ΔV), son posibles desde la Tierra, lo que resulta en tiempos de transferencia del orden de tres días; la modificación mínima permite menores requerimientos de energía total y agrega otro día más o menos al tiempo de tránsito. Por otro lado, es posible enviar grandes cargas a través de rutas de transferencia de “bote lento”, utilizando técnicas eficientes de bajo empuje y de alta energía como la propulsión eléctrica solar (Spudis, 2016); estas transferencias se extienden en espiral a distancias lunares durante periodos de semanas a meses. Finalmente, los enfoques por etapas se pueden llevar a cabo utilizando los puntos de Lagrange o la órbita lunar baja como puestos de avanzada¹²⁵. La ventaja

125 En los vuelos espaciales humanos, no se vuela en una sola nave espacial monolítica (hasta el momento). En cambio, se vuelan partes y piezas, juntando esas partes en el espacio y luego en la superficie de la Luna. Algunas partes se dejan y otras se traen de vuelta a la Tierra. Para escapar de la fuerza gravitacional terrestre, se necesita una gran cantidad de energía, y para luego aterrizar en la Luna y no pasar directamente por ella, se tiene que reducir la velocidad al perder esa misma energía. Por ende, se podría ahorrar algo de esta energía dejando partes de la nave espacial en órbita, llevando solo lo que se necesite a la superficie de la Luna. Una base permanente en una órbita alrededor de la Luna actuará como un puesto de preparación, desde donde se pueden dejar, recoger y ensamblar las partes.

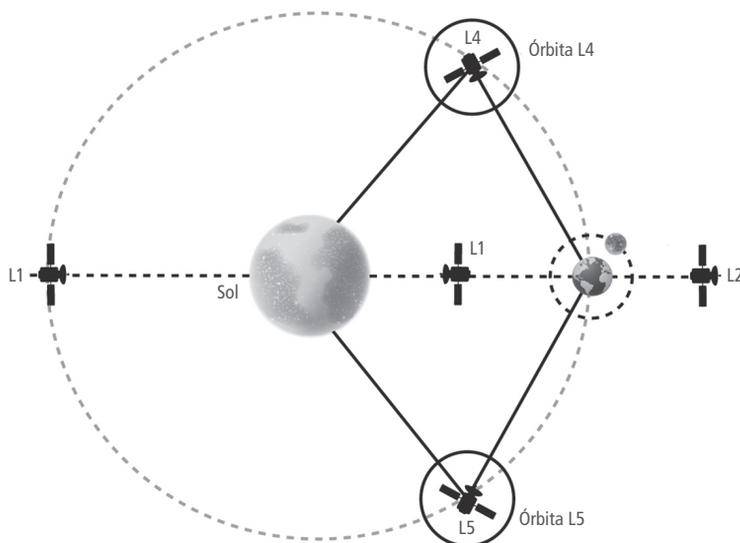
de este enfoque es que los activos y piezas de un sistema complejo pueden ensamblarse en un nodo de preparación, con la misión de superficie realizada desde ese punto. El sistema Apolo utilizaba una órbita lunar baja como un puesto de preparación; y usar una posición de preparación desde uno de los puntos de Lagrange tiene muchos beneficios, incluida su utilidad como área de clasificación para las futuras exportaciones lunares, así como para comunicaciones de línea de visión constante con la Tierra y la Luna.

Si bien la Luna es el único rasgo físico visible del espacio cislunar, es solo una de varias posiciones estratégicas ubicadas en esta tercera región astropolítica. En efecto, hay regiones en el espacio cislunar con anomalías gravitacionales conocidas como “puntos de libración de Lagrange”, llamadas así por el matemático francés del siglo XVIII que postuló por primera vez su existencia. Un punto de Lagrange es una ubicación en el espacio exterior donde las fuerzas gravitacionales combinadas de dos cuerpos grandes, como la Tierra y el Sol, o la Tierra y la Luna, equivalen a la fuerza centrífuga que siente un tercer cuerpo mucho más pequeño; la interacción de las fuerzas crea un punto de equilibrio donde una nave espacial puede “estacionarse”, sin gasto de combustible. Estos puntos son similares a las órbitas geosíncronas, las cuales permiten a un objeto estar en una posición fija en el espacio, en lugar de en una órbita en la que su posición relativa cambia continuamente.

Hay cinco puntos de Lagrange alrededor de los cuerpos principales, como un planeta o una estrella. Tres de ellos yacen a lo largo de la línea que conecta los dos cuerpos grandes. Por ejemplo, en el sistema Tierra-Sol, L1 se encuentra entre la Tierra y el Sol a 1.609.344 kilómetros de la Tierra, por lo que obtiene una vista ininterrumpida del Sol; actualmente está ocupado por el Observatorio Solar y Heliosférico (SOHO) y el Observatorio Climático del Espacio Profundo. L2 también se encuentra a 1.609.344 kilómetros de la Tierra, pero en la dirección opuesta del Sol; en este punto, con la Tierra, la Luna y el Sol por detrás, una nave espacial puede tener una visión clara del espacio profundo; la sonda de anisotropía de microondas Wilkinson de la NASA (WMAP), se encuentra actualmente en este lugar midiendo la radiación de fondo cósmica

que queda del *Big Bang* y se espera trasladar el telescopio espacial James Webb a esta región. L3 se encuentra detrás del Sol, frente a la órbita de la Tierra y por ahora, la ciencia no ha encontrado un uso para este lugar. L4 y L5 están en la trayectoria orbital de la Tierra alrededor del Sol, 60° por delante y por detrás de la Tierra, formando el vértice de dos triángulos equiláteros que tienen las grandes masas (la Tierra y el Sol, por ejemplo) como sus vértices (figura 25).

Figura 25. Puntos de Lagrange



Fuente: Elaboración propia

En resumen, L1 y L2 están posicionados sobre los lados diurno y nocturno de la Tierra; respectivamente, L3 está al otro lado del Sol (frente a la Tierra), y L4 y L5 están 60° adelante y detrás de la Tierra en la misma órbita. En la práctica, debido a perturbaciones en el entorno espacial (incluidas las erupciones solares, la deriva y la oscilación orbital, así como los micrometeoritos), tres puntos de la línea Tierra-Sol se consideran inestables (L1, L2 y L3), y solo dos estables (L4 y L5), ya que se encuentran fuera de la línea de Tierra-Sol. Un satélite ubicado en L1, L2 o L3 sería como una pelota equilibrada en la cima de una colina empinada:

cualquier leve perturbación empujará al satélite fuera del punto de libración de Lagrange como si la pelota rodara cuesta abajo; los satélites en estos tres puntos necesitan ajustes constantes para mantenerse equilibrados y permanecer en su lugar.

En contraste, los satélites en L4 y L5 son más como una pelota en un tazón: incluso si se perturban, regresan automáticamente al punto de Lagrange; por eso se especula que estos dos puntos de Lagrange tienen importancia estratégica para las actividades comerciales y militares, ya que la energía necesaria para permanecer en estos puntos es efectivamente cero. Debido a la estabilidad de estos puntos, el polvo y los asteroides tienden a acumularse en estas regiones; los asteroides que rodean los puntos L4 y L5 se llaman “troyanos”, en honor a los asteroides Agamenón, Aquiles y Héctor que se encuentran entre los puntos de libración en el espacio del planeta Júpiter al Sol. La NASA afirma que se han encontrado miles de este tipo de asteroides en el Sistema Solar, incluido el único asteroide troyano conocido en la Tierra, 2010 TK7. Pero L4 y L5 se encuentran en la misma trayectoria orbital que la Luna, y son órbitas permanentes a medida que los tirones gravitacionales de la Tierra y la Luna se cancelan mutuamente; por ello, estos dos puntos son ideales para la construcción de infraestructura orbital a gran escala, como estaciones espaciales¹²⁶.

La facilidad de comunicación con la Tierra es otra ventaja de la proximidad de la Luna, ya que el apalancamiento proporcionado por este corto retraso de tiempo varía, de lo meramente conveniente, a lo operacionalmente esencial (Heiken et al, 1991). Para las operaciones humanas típicas en la Luna o en distancias lunares, el tiempo de radio de ida y vuelta es un poco menos de tres segundos, un retraso notable pero fácil de manejar. El valor crítico del corto retraso de la distancia lunar viene con la teleoperación robótica, ya que la estrategia para adquirir capacidad operativa temprana en la Luna vendrá del emplazamiento y uso

126 Un puesto de avanzada humana para orbitar la Luna en el futuro es la estación Gateway. Según la NASA, esta estación seguirá una órbita de halo casi rectilínea (altamente excéntrica), que se completará cada siete días. En lugar de orbitar alrededor de la Luna en una órbita lunar baja, como los módulos de mando de las misiones Apolo, Gateway pasará a 3.000 kilómetros de la superficie lunar en su punto más cercano, y en su punto más lejano llegará a estar a 70.000 kilómetros.

de activos robóticos. Estos robots prepararán y construirán la infraestructura del puesto avanzado lunar, así como en la recolección de recursos, extracción de agua, almacenamiento y procesamiento, trabajo que podría ser operado (o al menos supervisado), de forma remota desde la Tierra. Debido a la demora de decenas de minutos para la propagación de radio, la operación remota de máquinas en Marte hace que sea difícil realizar incluso las tareas más simples (Spudis, 2016). En contraste, la proximidad de la Luna permite operar activos en la superficie lunar casi que en tiempo real.

4.3.2.2. El valor científico lunar. La Luna ofrece un valor científico que es único dentro de la familia de objetos en el Sistema Solar. Al ser un registro de la historia y el proceso de su creación, la Luna contiene materiales sin examinar desde su formación hace más de cuatro mil millones de años, por lo que es un laboratorio natural para comprender los procesos que crearon el Sistema Solar y que actualmente impulsan la evolución geológica de los planetas. Por tanto, la Luna registra su propia historia y la historia del Universo a su alrededor (Wilhelms, 1987). Además, su entorno permite experimentos únicos en las ciencias físicas y biológicas; sin ionosfera, y una cara oculta de la Luna que bloquea permanentemente el ruido de radio y la estática de la Tierra (Heiken et al, 1991), permitiría que un radiotelescopio ubicado allí pueda examinar longitudes de onda de baja frecuencia que son imposibles de detectar desde la superficie de la Tierra o en la órbita LEO. Así mismo, la superficie lunar sísmicamente silenciosa permite la contrición de instrumentos extremadamente sensibles y delicados, como interferómetros a longitudes de onda ópticas. Una serie de telescopios de este tipo podría lograr resoluciones en el segundo nivel de microarcos, lo que permite la observación directa de fenómenos como las estrellas y los hemisferios de los planetas terrestres en los sistemas cercanos (Spudis, 2016); dichas capacidades revolucionarían la comprensión humana de los caminos evolutivos de los sistemas estelares y planetarios.

Finalmente, el entorno de la Luna es en sí mismo un activo científico de gran valor. El duro vacío y el extremo régimen térmico permiten ex-

perimentos únicos de ciencia de materiales (Spudis, 2016). La baja gravedad de la Luna permitiría cuantificar los efectos de la gravedad fraccional en los fenómenos físicos y biológicos, y al ser un entorno aislado y esterilizante, permitiría la experimentación con procesos y materiales peligrosos. En efecto, futuras instalaciones en la superficie lunar permitirían realizar experimentos peligrosos que no sería prudente desarrollar en la Tierra. Éstas como muchas otras propiedades únicas, hacen de la Luna un activo incomparable para la experimentación científica y el trabajo de laboratorio.

4.3.2.3. La utilidad lunar. Si bien los dos atributos anteriores de la Luna son extremadamente importantes, su mayor valor sería su potencial para crear una nueva capacidad de navegación espacial, a través de la explotación de sus recursos materiales y energéticos. De acuerdo con Heiken et. al (1991), la idea de utilizar los materiales de otros mundos para aprovisionarnos, y para suministrar y apoyar los vuelos espaciales es muy antigua, aunque hasta la fecha no se haya intentado. Sin embargo, el desarrollo de esta actividad podría cambiar por completo el paradigma de los vuelos espaciales (Spudis, 2016). Actualmente, todo lo que se requiere en el espacio exterior debe ser transportado a la órbita de la Tierra a un altísimo costo, (entre US\$1.000 a US\$10,000 por kilogramo); y este costo se aplica a todo: “cuesta la misma cantidad de dinero lanzar un kilogramo de productos electrónicos de alta tecnología que un kilogramo de agua” (Spudis, 2016, p. 119). De tal modo, si se pudiera proporcionar agua, aire y propulsores de cohetes de fuentes locales que ya están presentes en el espacio exterior, podrían desarrollarse nuevas capacidades para que la humanidad se aventure permanente hacia el espacio profundo.

Los recursos de la Luna son simples y requieren un procesamiento mínimo (Wilhelms, 1987). Primero, el regolito del suelo tiene muchos usos como protección térmica y contra la radiación. Aunque se puede usar tierra suelta, el regolito también se puede fusionar mediante microondas o calentamiento solar térmico pasivo, en cerámica o agregado para material de construcción; las carreteras y las plataformas de

aterrizaje se podrían llegar a fabricar sinterizando el regolito. Es decir, las estructuras y piezas se podrían producir con tecnología de impresora 3-D, utilizando regolito fino como materia prima.

Adicionalmente, los polos de la Luna poseen recursos críticos necesarios para la presencia humana a largo plazo en ella y en el espacio ultraterrestre. Los polos lunares tienen dos atributos que el resto de la Luna no posee: hielo de agua y áreas de luz solar casi permanente (Heiken et. al, 1991). Además del agua, otros elementos que están presentes en el hielo polar son el metano [CH₄], el monóxido de carbono [CO], el amoníaco [NH₃], el sulfuro de hidrógeno [HS] y algunas moléculas orgánicas simples (Wilhelms, 1987). Todas estas sustancias volátiles pueden procesarse químicamente para ayudar a mantener una presencia humana en la Luna. Las áreas oscuras de la Luna donde el hielo es estable son extremadamente frías, siempre inferiores a -169°C (aunque en algunos casos tan frías como 248°C); estas áreas oscuras se encuentran típicamente en los interiores de cráteres lunares, pero en algunos casos también en regiones extendidas de sombras. Aunque no hay áreas de luz solar permanente, se ha encontrado que ciertas regiones cercanas a ambos polos de la Luna están expuestas a la luz solar durante más del 90% de los años lunares. Por consiguiente, un puesto avanzado ubicado en estas áreas podría generar energía eléctrica de manera casi constante, con periodos de oscuridad puenteados por el almacenamiento de energía, como el uso de una pila de combustible recargable (Spudis, 2016).

Pero además de la constante energía solar disponible en los polos, la Luna contiene sustancias que, en el futuro, pueden usarse para generar energía para su aprovechamiento en la superficie lunar y en el espacio exterior. Varias regiones del lado cercano occidental contienen cantidades elevadas del elemento radioactivo torio [Th], que puede usarse para alimentar la energía nuclear y generar energía eléctrica (Klinger, 2017). Mediante varias reacciones nucleares, los reactores reproductores de Th pueden producir su propio combustible, lo que permitiría construir reactores espaciales en la Luna; un uso de la energía nuclear permitiría a los seres humanos sobrevivir la larga noche lunar y facilitar la habitación de las regiones ecuatoriales y de las latitudes medias de la Luna. Pero, sobre

todo, la disponibilidad de abundante energía también permitiría la industrialización a gran escala de la Luna. En un futuro más lejano, algunos han propuesto que la velocidad del isótopo helio-3, implantado en el regolito lunar por el viento solar, podría cosecharse para generar energía eléctrica en una reacción nuclear relativamente limpia, es decir, una que no genere exceso de neutrones y productos de reacción sucios (Klinger, 2017). Potencialmente, la fusión de helio-3 podría resolver los problemas energéticos del mundo si se pudiera encontrar una fuente adecuada de isótopos¹²⁷.

Pero el activo estratégico lunar más importante consiste en el hielo de agua y la luz solar permanente cerca de los polos. El agua es el material más útil en el espacio; en su forma nativa, puede beberse y usarse para reconstituir alimentos, equipos frescos y hábitats para la protección contra la radiación, así como para las necesidades de higiene y saneamiento. Una corriente eléctrica puede disociar el agua en sus componentes hidrógeno y oxígeno; estos gases pueden almacenarse y usarse: el oxígeno para respirar, y ambos gases recombinarse en una celda de combustible para generar electricidad. Utilizada de esta manera, el agua es un medio de almacenamiento de energía. Finalmente, el hidrógeno y el oxígeno pueden enfriarse en líquidos criogénicos y usarse como combustible para cohetes, el propelente químico más poderoso conocido hasta el momento; debido a su valor utilitario, el agua es realmente la “moneda de cambio” de los vuelos espaciales.

En resumen, la Luna es el primer objeto extraterrestre después de salir de la órbita terrestre, siendo un lugar muy deseable para establecer un “puente aéreo”¹²⁸, o mejor, un puente espacial; es una ubicación conocida por contener recursos naturales y materiales energéticos a los cuales se puede acceder, y es un lugar donde la humanidad puede aprender las habilidades y tecnologías necesarias para convertirse en residente permanente del espacio exterior.

127 Está presente en la Tierra como un componente del gas natural, pero en cantidades extremadamente pequeñas.

128 Un “puente aéreo” es una operación militar en la que un área ubicada en un territorio hostil es tomada y asegurada, permitiendo el aterrizaje de nuevas tropas y material bélico, y proporcionando nuevo espacio de maniobra para la consecución de las subsiguientes operaciones proyectadas. Puede ser utilizado como un punto de reaprovisionamiento de combustible para operaciones rápidas o menos permanentes.

Es en este orden de ideas, el tercer imperativo astropolítico de Colombia sería proyectarse al *rimland* del Sistema Solar, es decir, al espacio cislunar en general, y a la Luna, en particular. En el intento de darle a un futuro programa espacial colombiano una dirección estratégica de largo plazo, acceder a la Luna debería ser un interés nacional de Colombia. En efecto, el Estado colombiano debería elaborar un programa espacial que perdure durante décadas, que haga progresos constantes y genere beneficios tangibles con los niveles de financiación que eventualmente estarían disponibles. Es por eso por lo que el aprovechamiento de recursos lunares podría ser un apropiado punto de partida para un programa espacial colombiano que contemple satisfacer el tercer imperativo astropolítico de Colombia. Y como es sin duda un proyecto de investigación y desarrollo de ingeniería de alto riesgo, va a ser difícil que el sector privado y otros Estados puedan recaudar por sí solos el capital necesario para su materialización, aun cuando el resultado de este proyecto podría conducir a la creación de nuevos mercados y riqueza. Es por eso por lo que como astroestrategia para el logro del tercer imperativo astropolítico, el Estado colombiano podría participar, a través de la cooperación internacional (con otras agencias espaciales, así como corporaciones privadas de carácter doméstico y foráneo), en el desarrollo de conocimiento y capacidades para aprovechar las oportunidades económicas proporcionadas por el usufructo del espacio cislunar.

Además, tener la capacidad de hacer presencia en la tercera región astropolítica es también un asunto de seguridad nacional. Tómese por el ejemplo el caso de China, conocida históricamente por tener una visión a largo plazo que a menudo abarca décadas (a diferencia de la visión cortoplacista que ha caracterizado a la sociedad colombiana); China comprende y aprecia la importancia estratégica y el valor del espacio cislunar. Y, aunque los planes chinos iniciales para las misiones lunares humanas son una declaración de paridad técnica con los Estados Unidos, los chinos también son conscientes del valor de la Luna como una “puerta trasera” para acercarse a otros niveles del espacio cislunar, como lo demostró la misión lunar Chang'E 2: aparentemente un mapeador global, esta nave espacial fue lanzada a la Luna en octubre de 2010,

insertándose con éxito en la órbita lunar y pasando los siguientes ocho meses mapeando la superficie lunar en detalle. Pero luego, la misión dio un giro extraño, ya que después de abandonar la órbita lunar en junio de 2011, procedió a merodear durante los siguientes ocho meses en L2. En abril de 2012, estando en L2, Chang'E 2 interceptó y voló más allá de unos tres kilómetros de Toutatis, un asteroide cercano a la Tierra que orbita alrededor del Sol, enviando con éxito imágenes y otros datos de su encuentro con este cuerpo celeste.

Este perfil de misión es significativo en términos de defensa espacial, ya que los chinos demostraron su capacidad para despachar y maniobrar una nave en todo el espacio cislunar, incluidas las tareas de encuentro e interceptación, así como en la habilidad de comandar y operar este vehículo durante varios años. Pues bien, merodear, interceptar y la acción al mando son tres pilares de la guerra antisatélite (Dolman, 2005); además, una nave espacial en una ruta de interceptación desde arriba, en lugar de desde abajo (como sería el caso de las misiones antisatélite lanzadas desde la Tierra), es mucho más difícil de detectar y rastrear. En conclusión, con la misión Chang'E 2, China demostró no solo la capacidad de llegar a la Luna, sino también la de basar armas ASAT en el espacio cislunar profundo e interceptar cualquier nave espacial a voluntad, que usualmente tienen muy pocas capacidades defensivas.

4.4. Cuarta región astropolítica: el espacio solar

Es la región más allá de la órbita de la Luna, constituyéndose en el espacio vital para una creciente población en la Tierra. Los planetas cercanos de Marte y Venus, las lunas de Júpiter y Saturno, y muchos de los grandes asteroides en el cinturón de asteroides, contienen las materias primas necesarias para encender una edad neo-industrial. Con relación a Marte, es el segundo planeta más pequeño del Sistema Solar, con un diámetro de aproximadamente 6.791 kilómetros (solo supera en tamaño a Mercurio)¹²⁹. Su atracción gravitacional es solo un tercio de la terrestre,

129 Según la Nasa, Júpiter tiene un diámetro de 69,911 kilómetros (1.120% el tamaño de la Tierra); Saturno tiene 58.232 kilómetros de diámetro (945% el tamaño de la Tierra); Urano, 25.362 kilómetros de diámetro.

y su superficie es de tamaño similar a toda la masa terrestre (Zubrin, 1996). Marte carece de magnetosfera, pero tiene ionosfera y su atmósfera delgada está compuesta principalmente de dióxido de carbono. Un año marciano dura 687 días terrestres, y un día marciano 24 horas y 37 minutos, por lo que es similar al periodo diurno terrestre; sin embargo, sus estaciones son desigualmente largas debido a la órbita elíptica del planeta (Zubrin, 1996). Marte está a una distancia promedio de aproximadamente 1.5 UA del Sol¹³⁰, con el punto más cercano a aproximadamente 1.4 UA y el punto más distante en la órbita a una distancia mayor a 1.6 UA. (Lane, 2011)

Marte tiene dos lunas: Phobos (la más grande) y Deimos, que orbitan el planeta a una velocidad relativamente rápida de 7.6 y 30.3 horas, respectivamente (Lewis, 1997); ambos son probablemente asteroides capturados o restos de alguna colisión ancestral. Cualquier constelación relativa de la Tierra y Marte se repite en ciclos de 26 meses y su distancia se repite en ciclos de 15 años (Stuster, 2012). De acuerdo con Lane (2011), Marte fue a lo largo de su historia, y con un grado significativo de certeza, geológicamente activo. Esto no solo significa que la superficie marciana es variada, sino que también contiene muchos minerales que son vitales para la actividad humana; los recursos cruciales incluyen carbono, nitrógeno, hidrógeno u oxígeno en formas más fáciles de acceder que aquellos en la Luna, donde están unidos a metales. Otros recursos probablemente contienen metales y minerales en formas altamente concentradas, o deuterio (Zubrin, 2009). También existe la posibilidad de que se encuentren minerales raros en caso de que un asteroide masivo golpee la superficie marciana sin destruirse (Klinger, 2017); además, las lunas marcianas también podrían ser cosechadas para He-3 (Lewis, 1997). En otras palabras, la presencia de recursos en Marte es probablemente alta, pero la distancia desde la Tierra y el pozo gravitacional más

metro (400% el tamaño de la Tierra); Neptuno, 24.622 kilómetros de diámetro (388% el tamaño de la Tierra); la Tierra tiene 6.371 kilómetros. Por su parte, Venus tiene 6.052 kilómetros de diámetro (95% el tamaño de la Tierra); Marte, 3.390 kilómetros de diámetro (53% el tamaño de la Tierra) y Mercurio, 2.440 kilómetros de diámetro (38% el tamaño de la Tierra).

130 La Unidad Astronómica (UA) es una unidad de longitud igual a 149.597.870.700 metros, que equivale aproximadamente a la distancia media entre la Tierra y el Sol.

profundo de Marte implica que sean económicamente menos viables de extraer, que aquellos ubicados en la Luna u otros cuerpos celestes (Wingo, 2009).

A diferencia de la Luna, que orbita relativamente cerca de la Tierra, llegar a Marte desde requiere recorrer entre 56 a 400 millones de kilómetros (Zubrin, 1996)¹³¹, y ninguna trayectoria conocida hasta el momento puede acortar los largos meses de tránsito (incluso, la mayoría de las misiones robóticas duran nueve meses)¹³². No obstante, hay varios diseños de misiones propuestas para llegar al planeta marciano con una tripulación humana; el primer plan de misión potencial incluye el uso de la órbita de transferencia de Hohmann según la propagación. Para Zubrin (1996), el uso de la órbita de transferencia de Hohmann con un lanzamiento programado desde la Tierra, llevaría a posibles viajeros a Marte en 150 días, y la velocidad relativa del vehículo sería suficiente para que la gravedad marciana capture la nave, pero dejando la posibilidad de un sobrevuelo del planeta en caso de emergencia que obligase a un retorno directo a la Tierra (Zubrin, 1996; 2009)¹³³. Okutsu (2015) presentó un modelo alternativo para llegar a la superficie de Marte, abogando por la construcción de una gran estación espacial que orbite periódicamente entre la Tierra y Marte, con vehículos más pequeños utilizados para llegar a la superficie de ambos planetas.

Con base en lo anterior, es necesario hacer nuevamente uso de la geopolítica clásica. Aunque el espacio exterior (como los mares terrestres), puede potencialmente ser atravesado en cualquier dirección, los pozos gravitacionales y el costo prohibitivo de conseguir combustible en órbita sugieren que el futuro de los viajes espaciales tendrá tráfico pesado alrededor de órbitas y rutas de tránsito específicas, para reducir costos y aumentar la seguridad. Al igual que el control marítimo, para

131 Es entre 140 y 1.000 veces la distancia de la Tierra a la Luna.

132 El primer objeto hecho por el hombre que aterrizó en la superficie marciana fue Viking 1, en 1976.

133 Zubrin (1996) también presenta otros dos planes de misión basados en la conjunción y oposición. La misión conjunta es una misión de energía mínima con el uso de dos órbitas Hohmann y una estadía de 550 días en la superficie marciana (900 días en total para todo el viaje). La misión de la oposición devolvería a la tripulación usando el sobrevuelo de Venus y una asistencia gravitacional, y reduciría la duración total de la misión a 300 días, aunque expondría a la tripulación a mayores niveles de radiación debido al mayor acercamiento al Sol.

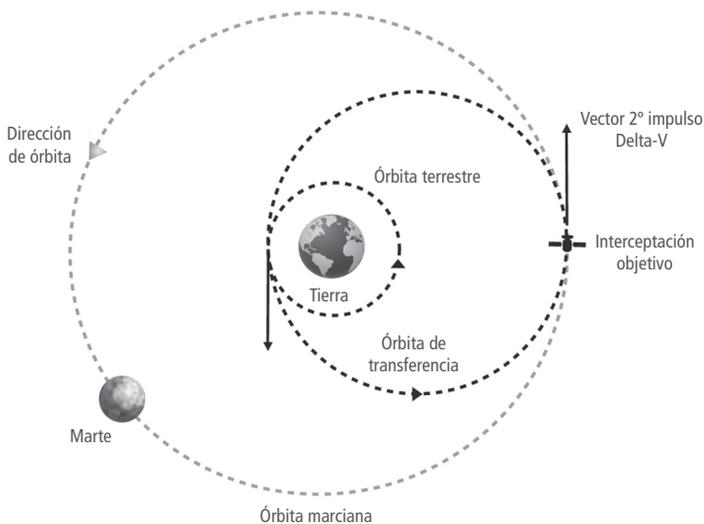
el control astropolítico es fundamental controlar las Líneas de Comunicación Espaciales (LCE). Éstas son vulnerables a los cuellos de botella y a los puertos de control terrestres o extraterrestres a considerarse en el futuro cercano o lejano. Pues bien, en el espacio existen órbitas específicas y rutas de tránsito que debido a sus ventajas en la eficiencia del combustible crean corredores naturales de movimiento y de comercio; cada una de estas vías, identificadas como órbitas de transferencia de Hohmann, tiende a ser en sí misma crítico cuello de botella.

En la astronáutica y la ingeniería aeroespacial, la órbita de transferencia de Hohmann es una maniobra orbital que, bajo las hipótesis comunes de la astrodinámica, traslada una nave espacial desde una órbita circular a otra utilizando dos impulsos de su motor. En la era de la vela, el viento y la corriente marina fueron los factores determinantes en los viajes transoceánicos, mientras que, en los viajes en tren, el gradiente era la limitación determinante en el transporte transcontinental. En el espacio exterior, la gravedad es el factor más importante para lograr atravesar la topografía del espacio. Como ya se había comentado, las ondulaciones invisibles del “terreno” del Universo, es decir, las “colinas” y los “valles” del espacio exterior, se denominan “pozos de gravedad”, en donde cuanto más masivo es el cuerpo, más profundo es el pozo. Así mismo, la discusión previa de la mecánica orbital había demostrado que una nave espacial en órbita estable no gastaría combustible y, por tanto, estaría en la configuración Δv más ventajosa, por lo que el viaje más eficiente en el espacio se podría imaginar como una transferencia de una órbita estable a otra, con el menor gasto de Δv .

Usando esta lógica, en el espacio pueden encontrarse órbitas específicas y rutas de tránsito que, debido a sus ventajas en la eficiencia del combustible, crean corredores naturales de movimiento y comercio (Doboš, 2019). Las maniobras orbitales se pueden realizar en cualquier punto, pero para ahorrar combustible, hay ciertos puntos en los que se debe aplicar el empuje (Dolman, 2005). La forma más eficiente de llegar de la órbita A, a la órbita B (el lenguaje apropiado de los viajes espaciales), es la transferencia de Hohmann; esta maniobra es un cambio de dos pasos en Δv ; primero se encienden motores para acelerar la nave espacial a una

órbita elíptica más alta (o desacelerar a una más baja); cuando la órbita objetivo se cruza, los motores vuelven a dispararse para circularizar y estabilizar la órbita final. Una órbita de transferencia de Hohmann se representa desde la Tierra a la órbita geosíncrona, pero se usa la misma lógica en todas las transferencias, incluida la órbita terrestre baja a movimiento geostacionario, planetario, incluso la interceptación de cometas desde las instalaciones de lanzamiento de la Tierra (figura 26).

Figura 26. Órbitas de transferencia de Hohmann



Fuente: Elaboración propia

Las llamadas “transferencias rápidas”, en las que se ignoran las reglas de la mecánica orbital y una nave espacial simplemente gasta combustible a lo largo de su trayectoria de vuelo, por supuesto son posibles, pero requieren un gasto de Δv que solo se realizará si el combustible es abundante y económico, o si el tiempo es crítico.

Sin embargo, éste es el equivalente en el espacio ultraterrestre de navegar por el camino largo y puede hacer que los negocios no sean rentables y las pérdidas inaceptables. Dada la necesidad vital de conservar combustible y aumentar la vida productiva de las naves espaciales, las

futuras LCE comerciales y militares serán órbitas de transferencia de Hohmann entre puertos espaciales estables. En esta línea, en 1997 se publicó un grupo de órbitas conocidas como “Red de Transporte Interplanetario”, un conjunto de vías determinadas gravitacionalmente a través del Sistema Solar que, si bien son más lentas que las de Hohmann, requieren muy poca energía para que un objeto las siga; por tanto, el Estado que ocupe o controle más eficazmente estas posiciones podría llegar a garantizarse para sí, la dominación del comercio espacial, y en última instancia, la de la política terrestre.

Finalmente, otros activos estratégicos dignos de mencionar en la cuarta región astropolítica (aparte del resto de los planetas del Sistema Solar, y sus lunas), son los asteroides, el planeta enano Ceres y los cometas que viajan por el Sistema Solar interior. Comenzando con los asteroides, pueden encontrarse diferentes tipos, divididos por sus características orbitales, como, por ejemplo, Objetos Cercanos a la Tierra (OCT), Asteroides Potencialmente Peligrosos (APP), objetos del cinturón de asteroides o troyanos. La mayoría de los asteroides (incluidos los más grandes), se encuentran en el cinturón de asteroides; más de 10.000 OCT conocidos (de los cuales más de 800 tienen un diámetro mayor a un kilómetro), se pueden agrupar en: asteroides Amor, cruzando Marte pero no la órbita de la Tierra; asteroides Apolo, que cruzan la órbita terrestre y tienen un periodo orbital superior a un año; y asteroides Atenas, cruzando la órbita terrestre con un periodo orbital inferior a un año y una distancia promedio inferior a un UA. También llama la atención que los asteroides que orbitan dentro de 2.5 UA del Sol están secos, mientras que aquellos más alejados del Sol tienen hielo en su composición (Sommariva, 2015).

Muchos asteroides se encuentran en órbitas inestables, lo cual dificulta su acceso. Pero la situación es menos complicada en el caso de los planetas enanos, como Ceres, ubicado dentro del Sistema Solar interno; éste orbita dentro del cinturón de asteroides y está a una distancia promedio de 2.7 UA del Sol, a la cual orbita una vez cada 4.6 años terrestres, y su día dura aproximadamente nueve horas. El diámetro de Ceres es de 950 kilómetros (el planeta enano más pequeño que se conozca hasta el momento),

y su gravedad es inferior al 3% de la terrestre. Se cree que Ceres tiene una cantidad significativa de agua en su superficie, aunque no contiene una atmósfera o magnetosfera considerable. Por esto, probablemente no sea factible para una habitación a largo plazo, aunque sí tiene el potencial de convertirse en un depósito esencial de agua disponible. Finalmente, los cometas que viajan periódicamente entre el Sistema Solar interno y externo, debido a sus órbitas específicas, generalmente están compuestos de polvo y hielo, y son atractivos para la minería espacial en el futuro lejano.

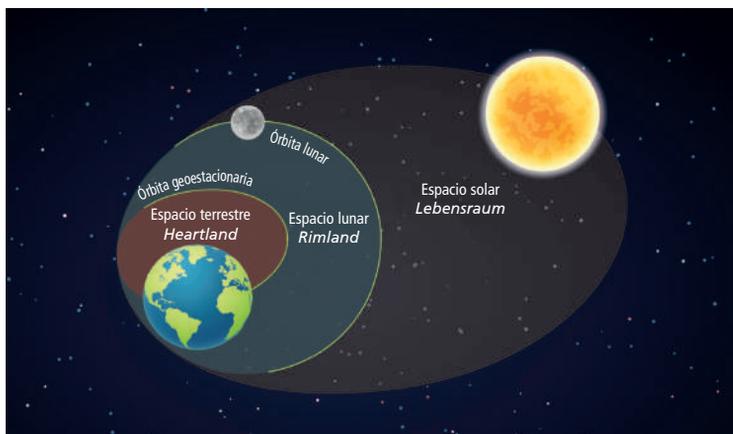
Por consiguiente, las razones para aterrizar en estos pequeños cuerpos celestes serían numerosas. Primero, hay un valor científico, ya que la exploración de asteroides, cometas y Ceres aportaría nuevos conocimientos esenciales sobre la composición y los orígenes del Sistema Solar. En segundo lugar, hay un problema de defensa planetaria; las APP amenazan con golpear la Tierra, y es necesario desarrollar tecnologías y estrategias para proteger al planeta de un posible impacto que podría tener consecuencias fatales para la existencia de vida en el planeta. En tercer lugar, está el tema del desarrollo económico; este punto comprende la utilización comercial directa de OCT, como la extracción de combustible (Lewis, 1997), utilización de materiales y minerales (Sommariva, 2015), o minería de Helio-3 (Dudley y Gangale, 2012), así como el posible uso de éstos como método de transporte para alcanzar de manera económica el cinturón de asteroides (en el caso de aquellos asteroides con órbita alcanzando tanto el cinturón de asteroides como la región cercana a la Tierra). Los asteroides grandes también podrían cumplir funciones de estaciones de reabastecimiento de combustible (Dolman, 2005), y puntos geoestratégicos críticos en la futura utilización de la cuarta región astropolítica. Finalmente, las habilidades adquiridas al realizar las misiones de aterrizaje de asteroides podrían ser útiles para una futura misión tripulada a Marte (Burchell, 2014).

En conclusión, la cuarta región astropolítica, con sus numerosos planetas, lunas y asteroides, es un entorno altamente rico en recursos. Los cuerpos celestes contienen cantidades altamente concentradas de metales como hierro, níquel, tungsteno, cobalto y elementos de tierras raras, así como gases como amoníaco, nitrógeno e hidrógeno (Klinger,

2017). Los cometas son principalmente agua congelada incrustada con partículas de polvo, mientras que los asteroides rocosos están compuestos de materiales de silicato ricos en carbono, metálicos y minerales. La extracción de estos recursos tiene un potencial crítico para el sustento de la vida tanto en la Tierra como en el espacio ultraterrestre.

En consecuencia, un cuarto imperativo astropolítico de Colombia sería el de aventurarse al lebensraum del Sistema Solar, mediante la geoestrategia de participación en misiones conjuntas de sondas exploratorias con agencias espaciales de otros Estados que ya cuentan con un acervo técnico y experiencial en los viajes al espacio profundo (figura 27). Ello con miras a allanar el camino de participar en futuras misiones tripuladas a planetas como Marte, que pareciera tener el potencial de mantener una población bastante considerable de colonos terrestres en el futuro (Zubrin, 1996). Esto garantizaría la supervivencia de Colombia en caso de que un desastre apocalíptico previsible sea inevitable. Por último, pero no menos importante, Marte podría llegar a convertirse en una parte esencial del comercio del Sistema Solar, desempeñando una función de base de apoyo para misiones de minería de asteroides, sitio de extracción de algunos recursos y un fabricante de productos de baja tecnología utilizados en el desarrollo posterior del Sistema Solar interno.

Figura 27. Regiones astropolíticas basadas en la geopolítica clásica



Fuente: Elaboración propia con base en Dolman (2005)

5. Conclusiones

Como marco de análisis, la geopolítica clásica pretende ayudar a los estrategas y formuladores de políticas a comprender mejor los entornos terrestres y espaciales. Admite que la geografía y la tecnología definen límites y oportunidades en la política internacional, pero también integra la elección y las actividades humanas. Es en este sentido que la geopolítica clásica nunca ha sido determinista, como lo afirma la geopolítica crítica. Para la geopolítica clásica:

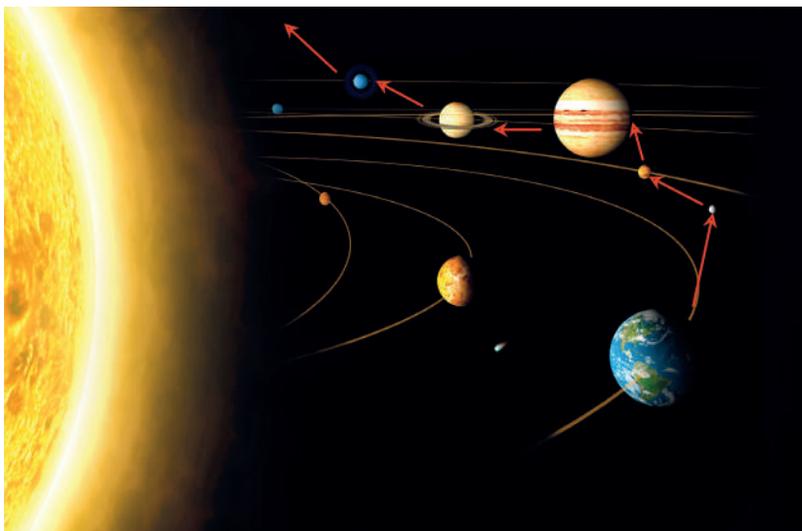
El equilibrio real del poder político en cualquier momento dado es, por supuesto, el producto, por un lado, de las condiciones geográficas, tanto económicas como estratégicas, y, por otro lado, del número relativo, la virilidad, equipo y organización de los actores en competencia. (Mackinder, 1904, p. 437)

Mahan (1897) consideraba que el ascenso al poder de Gran Bretaña había sido posible porque los británicos supieron explotar su ubicación a través de las rutas marítimas de Europa. En este orden de ideas, un astroestratega debería construir analogías similares. Por ejemplo, Mahan (1890) observó correctamente que un Estado prudente no solo podría evitar la guarnición de todos los mares para dominarlos, sino que ni siquiera tendría que guarnecer la totalidad de las rutas comerciales; solo se debían controlar las ubicaciones de los puntos críticos a lo largo de estas “autopistas”. Es decir, sería suficiente con una fuerza pequeña cuidadosamente desplegada, para controlar los cuellos de botella o los puntos de estrangulamiento de las principales rutas marítimas; el control de estas pocas ubicaciones geográficamente determinadas garantizaría el dominio sobre el movimiento comercial y militar del mundo, por parte del Estado supervisor. Por ende, las órbitas de transferencia de Hohmann se establecerían como el equivalente de la línea de comunicación marítima para el espacio exterior; es decir, el dominio del espacio vendrá a través del control eficiente de los estrechos o estrangulamientos estratégicos específicos del espacio exterior, a lo largo de las LCE.

Y resulta que el principal y primer cuello de botella estratégico fácilmente identificable en el espacio exterior es la órbita terrestre baja (LEO). Esta banda estrecha de espacio operativo contiene la mayor parte de los satélites de la humanidad, la mayoría de los cuales son plataformas o tienen utilidades militares; es también el entorno en donde opera la tecnología y las operaciones actuales de armas antisatélite (ASAT). Además, dentro de este estrecho cinturón se encuentran las actuales estaciones espaciales tripuladas y, por si fuera poco, a toda la inmensidad incomprensible del Universo solo se puede acceder viajando a través de ella (Dolman, 2005). Mientras tanto, en el borde del espacio terrestre, más allá de LEO, se encuentra el estrecho estratégico más competido: el cinturón geoestacionario; esta banda sobre la cintura ecuatorial de la Tierra es la única órbita natural que permite una posición estable en relación con un determinado punto en la Tierra. Sin embargo, el cinturón geoestacionario tiene limitaciones severas en la cantidad de satélites que pueden operar dentro de él, debido a la posibilidad de interferencia de transmisión desde plataformas adyacentes; esto ha hecho que la mayoría de los miembros de la comunidad internacional lo consideren un recurso natural internacional escaso y precioso. Sin embargo, en 1977, nueve estados ecuatoriales, entre ellos Colombia, afirmaron en la Declaración de Bogotá, que la soberanía nacional se extendía hasta la altitud geoestacionaria; y esta acción no fue diferente a los intentos de numerosos Estados costeros de extender el límite de sus aguas territoriales internacionalmente reconocidas.

En otras palabras, el cinturón geoestacionario se ha considerado, por parte de algunos, un territorio soberano, transformando un área que se conoce habitualmente como “patrimonio común de la humanidad”, en una zona de potencial conflicto geopolítico. Mahan (1890) también abogó por el establecimiento de bases navales estadounidenses en puntos estratégicos, como Hawái, Filipinas y varias islas del Caribe, para que actuaran como estaciones de abastecimiento de combustible y reabastecimiento para la marina norteamericana. Y sin estas bases, los buques

de guerra y comercio de Estados Unidos no habrían podido convertir a ese país en la superpotencia del sistema internacional. La noción no es fresca, y tal base por etapas es históricamente común; la defensa de Douhet (1942) de un procedimiento de base fundado en la nueva tecnología aérea, complementa la visión de Mahan (1890) cuando se transfiere al espacio ultraterrestre. Douhet (1942) escribió extensamente sobre la próxima revolución en la guerra moderna, debida al hecho de que las características de la superficie de la Tierra prácticamente no obstaculizaban los aviones (un cambio crítico en la evolución hacia la astropolítica, con la importancia gradualmente decreciente de la topografía). Sin embargo, la energía aérea estaba limitada por rutas críticas de operaciones, que requerían campos de despegue y aterrizaje ubicados con precisión, e instalaciones efectivas para el mantenimiento y reparación de las aeronaves. Por tanto, pensando astroestratégicamente, dichas bases deberían considerarse críticas para el control del espacio exterior, y los planetas, lunas, asteroides y otros cuerpos celestes serían lugares obvios para “estaciones de tránsito” o “peldaños” en operaciones espaciales futuras (figura 28). Pero estos pueden no ser los puntos más favorables desde una percepción estratégica. Quizás las ubicaciones más útiles para bases estratégicas o comerciales en el espacio cislunar sean las anomalías gravitacionales conocidas como puntos de Lagrange.

Figura 28. Bases pivote del Sistema Solar

Fuente: Elaboración propia

En resumen, estos pocos ejemplos son solo algunas de las muchas características astro/ topográficas del terreno espacial actualmente explotado. El análisis astropolítico describe los puntos críticos de estrangulamiento en el espacio como aquellas áreas estables que incluyen los planetas, lunas, puntos de libración y asteroides donde se congregarán futuras empresas militares y comerciales (Dolman, 2005). Estos son los próximos puertos del espacio, ubicados junto con los valiosos recursos energéticos y minerales que se estima existen allí, o las estaciones de paso de Mahan (1890), Douhet (1942) y Mitchell (1925) en las diversas rutas de transferencia de Hohmann a estos recursos. Pero al igual que la tradición realista, los enfoques geopolíticos clásicos destacan los intereses nacionales y la competencia, a menudo legitimando la construcción de imperios extraterritoriales (Machiavelli, 1531; MacKinder, 1904; Haushofer, 1975), aunque las perspectivas varían con respecto al espacio exterior.

Algunos sostienen que cualquier Estado que obtenga el mayor control sobre el espacio ultraterrestre obtendría la mayor ventaja estratégica al conquistar el supremo “terreno elevado” (Dolman, 2005). Los efectos

de este punto de vista han sido la militarización constante del espacio exterior por parte de las grandes potencias como Estados Unidos, Rusia, China e India (Stares, 1985). Otros enfoques estado-céntricos observan que “aquellos que pueden cosechar los beneficios del espacio exterior tienen muchas más probabilidades de tener éxito en nuestro mundo interdependiente e interconectado” (Al-Rodhan, 2012, p. 123), y por eso defienden la cooperación espacial internacional como un medio de construcción de alianzas para proteger intereses estratégicos (Johnson y Erickson, 2006; Wang, 2009), o para avanzar en acuerdos internacionales entre Estados socios (Soares, Epiphânio y Gilberto, 2009; Klinger, 2018). Ambos comparten una preocupación acerca de cómo se debe utilizar el espacio exterior para mejorar el poder geopolítico de los Estados nacionales en todo el espacio terrestre.

Desde este punto de vista, los entornos del espacio ultraterrestre se reformulan como activos estratégicos que deben instrumentalizarse para aumentar el poder y la autoridad del Estado. Pero utilizar el espacio exterior como fuente de poder estatal o imperial no sería nada nuevo; las élites han usado el cosmos como una fuente de autoridad material y simbólica durante milenios. En efecto, emperadores y monarcas afirmaron durante siglos que los “mandatos divinos” los instalaron en sus tronos (Spence, 1988; Monod, 1999; Marshall, 2001), y las figuras religiosas respaldaban estos reclamos de control territorial, antropomorfizando la evolución del cosmos para reclamar privilegios conferidos por un Dios o dioses que residían en los cielos (Crone y Hinds, 1986; Brown, 2003; Gordis, 2003). En consecuencia, las figuras religiosas alineadas con el poder estatal o imperial se posicionaron como indispensables para apaciguar los poderes celestiales a cambio de subordinación y transferencias de riqueza material de otras personas.

Los poderosos actores del pasado y del presente utilizaron reclamos de acceso exclusivo al terreno supremo definitivo, incluso si solo se lo imagina, para organizar regímenes de control territorial en la Tierra, otorgando a la geopolítica clásica una profunda resonancia histórica con respecto al espacio exterior. Ya sea desde un punto de vista militar, real o religioso, estos puntos de vista clásicos definen el entorno del espacio

exterior como una fuente de amenaza natural, espiritual o militar (Peoples, 2008; Shariff y Norenzayan, 2011; Olson, 2012). La invocación de estas amenazas es política y económicamente conveniente para movilizar capital y fuerza de trabajo en forma de diezmos, tributos o apropiaciones de defensa. Del mismo modo, tales discursos caracterizan el espacio exterior como repleto de riquezas para ser disfrutado solo por los “espiritualmente dignos” (Smart, 1968; Schwaller, 2006), o capitalizados para obtener una ventaja estratégica por parte de los tecnológicamente más avanzados (Lewis, 1996; Klinger, 2017). El espacio ultraterrestre y sus infraestructuras terrenales podrían llegar a interpretarse erróneamente como un entorno “despolitizado” (Swyngedouw, 2011), pero este punto de vista despoja al Universo de su potencial para ser instrumentalizado como herramienta para la garantía de los intereses estratégicos nacionales, tal como lo vienen abordando con renovado vigor las presidencias de Donald Trump en Estados Unidos, Vladimir Putin en Rusia, Xi Jinping en China y Narendra Modi en India.

Entonces, los intereses geopolíticos en el espacio exterior se podrían llegar a definir como aquellas oportunidades para lograr: 1) la máxima libertad de acción; 2) el desarrollo completo de las capacidades espaciales y 3) el aprovechamiento de las posiciones geoestratégicas y de los recursos del espacio. Por ende, la esencia de la actividad en el espacio exterior es perseguir estos intereses, con los medios más rentables, a partir de opciones limitadas. La astropolítica sería, según este argumento, una lucha dinámica entre los Estados que buscan apoderarse de este nuevo entorno y organizarlo para que se adapte a sus propios intereses. En este sentido, la política y la tecnología espacial son herramientas indispensables para apoderarse de las posiciones geoestratégicas y los recursos en el espacio exterior, y de este modo satisfacer los objetivos políticos de los Estados. Las capacidades espaciales avanzadas no solo fortalecerían la seguridad relativa de estos Estados y sus esferas de influencia, sino que también servirían como el instrumento clave para dominar este nuevo “teatro de operaciones”. Por ende, el objetivo de la política y las tecnologías espaciales se transformaría gradualmente a perseguir beneficios económicos y el bienestar social resultante de la utilización del

espacio exterior, aunque estos cambios no han borrado por completo la importancia del uso de la seguridad en el espacio exterior. Nuevos tipos de amenazas, como el terrorismo y los problemas ambientales a nivel mundial, hacen que sea una tarea difícil para los Estados proteger su seguridad territorial. La avanzada tecnología del espacio exterior, como los sistemas de navegación y observación de la Tierra, pueden ayudar a los Estados a supervisar estas amenazas proteicas y desarrollar las capacidades de gestión necesarias para la garantía de la seguridad nacional.

