

Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Ciencias Económicas  
Escuela de Negocios y Administración Pública

---

## MAESTRÍA EN ECONOMÍA

---

### TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA

---

Una alternativa para la medición y comparación de la  
complejidad tecnológica en las actividades espaciales

---

AUTOR: LIC. JUAN MANUEL RODRIGUEZ REPETI

DIRECTOR: MG. PAULO DANIEL PASCUINI

SEPTIEMBRE 2022

---

## **Dedicatoria**

*A mis mentores, familia y amigos*

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a la empresa Servicio Satelital S.A. y a su gerente general Gonzalo Berra, por el cofinanciamiento de mi beca de maestría. También quiero agradecer a mi tutor de beca y de tesis Paulo Daniel Pascuini, por las enseñanzas y el acompañamiento que me brindó a lo largo de estos tres años. Además, agradezco a Martín Llada, Gabriel Montes Rojas, Julián Leone, Fabián Enrique González, y Luciana Ciccione, por sus valiosos aportes y comentarios.

## Resumen

Desde el comienzo de la carrera espacial en 1955, ciertas actividades comenzaron a tomar especial relevancia, en un comienzo para fines militares, y posteriormente, para fines civiles (por ejemplo, actividades de observación de la tierra, prevención de catástrofes naturales). Estas se han destacado por comprender un alto grado de complejidad tecnológica, el cual se viene incrementando de manera exponencial en las últimas décadas. Es por esto que la medición de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales comenzó a ser cada vez más relevante. Sin embargo, en la literatura existen pocos trabajos destinados a realizar este tipo de mediciones en los distintos países del mundo. A su vez, aquellos trabajos que lo hacen, presentan métricas que no contemplan la multiplicidad de variables que intervienen y determinan la complejidad tecnológica de este tipo de actividades.

El presente trabajo recopila y estructura datos sobre variables de complejidad tecnológica de las actividades espaciales para aquellos países que no se encuentran en la frontera tecnológica para tales actividades. Posteriormente, se han ordenado estos países según las métricas utilizadas habitualmente en la literatura. En base a esto, se observa que la complejidad tecnológica de estas actividades depende de múltiples variables, por lo tanto, esto es una limitación de las métricas mencionadas anteriormente. Ante esta limitación, se confeccionan métricas que sintetizan la información de todas estas variables, y capturan varios aspectos que resultan definitorios. Si bien estos indicadores son una herramienta más completa para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales, no tienen en cuenta actividades de frontera que aportan información adicional para tal medición. Por esto, se realiza un relevamiento no exhaustivo de las actividades de frontera que realizan los países que no se encuentran desarrollados plenamente en sus actividades espaciales desde el punto de vista tecnológico, el cual permite complementar a las métricas confeccionadas para sintetizar información. En base a estos ejercicios, se concluye que la consideración de múltiples variables de complejidad en un indicador sintético, más allá de sus limitaciones, es un aporte sustancial a la literatura que pretende medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales.

**Palabras clave:** Complejidad Tecnológica, Economía del Espacio, Componentes Principales.

## Índice

<b>1.</b>	<b>Introducción</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Planteamiento del tema/problema</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>Marco teórico</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Los aspectos fundamentales de la tecnología en el desarrollo económico</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Métricas de complejidad tecnológica</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Métricas de complejidad tecnológica de actividades espaciales</b>	<b>15</b>
<b>4.</b>	<b>Metodología</b>	<b>17</b>
<b>5.</b>	<b>Hallazgos/desarrollo</b>	<b>23</b>
<b>5.1</b>	<b>Ordenamientos según métricas utilizadas comúnmente en la literatura</b>	<b>23</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Tipo, procedencia y cantidad de satélites</b>	<b>23</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Ordenamientos a partir de la STL</b>	<b>25</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Ordenamientos por peso y número de instrumentos promedio</b>	<b>27</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Comparación entre los ordenamientos</b>	<b>29</b>
<b>5.2</b>	<b>Ordenamientos considerando múltiples variables</b>	<b>31</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Ordenamientos a partir de la media de las variables</b>	<b>32</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Análisis de Componentes principales</b>	<b>34</b>
<b>5.3</b>	<b>Nuevas Tendencias de las Actividades Espaciales</b>	<b>39</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Exploración de Cuerpos Celestes</b>	<b>40</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Servicios para mitigar la contaminación espacial</b>	<b>41</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Desarrollo de Servicios de Lanzamiento Comercial</b>	<b>42</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Desarrollo de Constelaciones de Satélites de Órbita Baja</b>	<b>44</b>
<b>6.</b>	<b>Conclusiones/reflexiones finales</b>	<b>47</b>
<b>7.</b>	<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>Anexos</b>	<b>54</b>
<b>8.1</b>	<b>Anexo de Características Técnicas</b>	<b>54</b>
<b>8.2</b>	<b>Anexo de Fuentes (A.F.)</b>	<b>55</b>
<b>8.3</b>	<b>Anexo Metodológico</b>	<b>57</b>
<b>Parte A</b>		<b>57</b>
<b>Parte B</b>		<b>58</b>
<b>8.4</b>	<b>Anexo de Resultados</b>	<b>59</b>

## 1. Introducción

Desde los inicios de la carrera espacial entre los Estados Unidos y la Unión Soviética en 1955, varios países fueron tomando en cuenta los beneficios que las actividades espaciales brindan (por ejemplo, comunicación satelital, navegación por satélite, entre otras). Cabe destacar que estos pueden enmarcarse tanto adentro como afuera del sector espacial. Dentro de este sector, se puede destacar como uno de los posibles beneficios de las actividades espaciales, el impulso de nuevas actividades económicas, por ejemplo, el turismo espacial. Pero también, el desarrollo de las actividades espaciales podría generar derrames de conocimiento e innovación fuera de la economía del espacio, entendiendo a esta como el conjunto de actividades en torno a la exploración, comprensión, gestión y uso del espacio (OECD, 2012, p. 20). Como ejemplos de estos derrames de conocimiento e innovación se podrían considerar, el incremento de la productividad de actividades como la agricultura y la minería mediante el uso de servicios de imágenes satelitales, o conexiones con zonas remotas mediante el uso de internet satelital.

Si bien cada vez un mayor número de países comienza a realizar actividades espaciales, el desarrollo del sector espacial no es simétrico entre ellos. Esto se debe a que no todos cuentan con el mismo presupuesto, organización o capacidades tecnológicas suficientes para llevar adelante desarrollos en este sector. Adicionalmente, no todos los países comenzaron a desarrollar actividades espaciales al mismo tiempo, lo que genera que los primeros hayan desarrollado una mayor cantidad de actividades las cuales, muy probablemente, sean más complejas que aquellas desarrolladas por países que comenzaron más recientemente. El nivel de complejidad tecnológica de ciertas actividades espaciales hace que varios países no puedan incursionar en actividades de determinada complejidad tecnológica, generando así brechas en las actividades espaciales de los países desde el punto de vista tecnológico (Wood & Weigel, 2011).

El nivel de complejidad tecnológica de las actividades espaciales se puede medir utilizando diferentes variables asociadas a esta complejidad. Algunas de ellas son la autonomía<sup>1</sup> de los hitos espaciales alcanzados por los países, la cantidad y tipo de satélites<sup>2</sup> que cada país posee, si los países producen de manera local o compran sus satélites, las características técnicas de los satélites

---

<sup>1</sup> Entendiendo como autonomía a la capacidad de los países para desarrollar actividades espaciales de manera independiente.

<sup>2</sup>Según Gallichio (2007), un satélite es un objeto tecnológico que órbita alrededor de la Tierra.

de cada país (por ejemplo, cantidad de instrumentos y peso), entre otras (Ver Anexo de Características Técnicas). A partir del uso de estas variables se pueden realizar diagnósticos de la complejidad tecnológica relativa de las actividades de los países, los cuales pueden contribuir al diseño de políticas que permitan a los países más rezagados incursionar en actividades más complejas. Sin embargo, a pesar de las contribuciones que podrían realizar los diagnósticos sobre la complejidad tecnológica de las actividades espaciales, existen pocos trabajos dedicados a la medición de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales (ver, por ejemplo, López et al., 2018; Wood & Weigel, 2011).

Además, los trabajos que desarrollan métricas que captan la complejidad tecnológica de las actividades espaciales para comparar a los países, por ejemplo, tomando hitos espaciales como aproximación de la complejidad, tienen ciertas limitaciones. Algunas de estas están en la secuencialidad presumida para los hitos espaciales que alcanzan los países, por ejemplo, que un país para operar un satélite deba tener establecida una agencia espacial previamente (Wood & Weigel, 2012b). Otra de las limitaciones de las métricas presentadas en los trabajos es su capacidad para combinar diferentes variables de complejidad, por ejemplo, la autonomía tecnológica con la cual se alcanzan los hitos y la complejidad tecnológica de estos (López et al., 2018). Es por esto que, las métricas planteadas en los trabajos y los ordenamientos resultantes de sus mediciones son poco abarcativos, ya que no consideran muchas variables de suma relevancia para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales. En tanto, para comparar la complejidad tecnológica de las actividades de los diferentes países se pueden observar variables en particular. Sin embargo, mientras que algunas de estas, por ejemplo, el peso de los satélites, pueden posicionar a algunos países por encima de otros, puede que el ordenamiento sea diferente si se observa otra variable como la cantidad de instrumentos que llevan los satélites.

Sumado a la escasez de trabajos que miden la complejidad tecnológica de las actividades espaciales, las limitaciones de las métricas que estos plantean, y las limitaciones de los ordenamientos que se pueden generar, no existe una base de datos que compile y organice la información sobre las distintas variables de complejidad asociada a las actividades espaciales de los países. En esta tesis se presenta el primer relevamiento exhaustivo de datos sobre las variables de complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países que no encabezan la frontera tecnológica del sector espacial (de aquí en adelante a estos se los denominará como países en desarrollo espacial). Tras la sistematización de esta información se realiza un análisis por separado

de las distintas variables de complejidad relevadas anteriormente, el cual permite generar diferentes ordenamientos de acuerdo con la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países que no se encuentran en la frontera tecnológica en materia espacial. Posteriormente, se confeccionan indicadores que resumen la información aportada por todas las variables vinculadas a la complejidad tecnológica de las actividades espaciales, para posteriormente ordenar a los mismos países en base a este indicador sintético de complejidad. Luego se agrega información sobre variables no captadas con anterioridad en la literatura y vinculadas a las actividades espaciales de frontera. Esto permite complementar la información y el diagnóstico realizado con las métricas utilizadas con anterioridad.

La presente tesis se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se plantea el problema a abordar y las preguntas de investigación e hipótesis que guían el trabajo. En el apartado posterior se expone el marco teórico de la tesis. Por último, se presenta la metodología a usar, y luego se exponen los apartados de resultados, conclusiones, bibliografía y anexos.



## 2. Planteamiento del tema/problema

Dentro de la literatura de la economía del espacio, existen muy pocos trabajos que tienen como objetivo medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales y generar ordenamientos de países según los resultados de estas mediciones. Las métricas utilizadas para tal fin tienen en cuenta variables e hitos concretos de la actividad espacial de los países que son tan variados, que van desde la cantidad total y las características técnicas de los satélites, al nivel de autonomía de las actividades espaciales de los países. Normalmente, se relacionan un mayor número de hitos alcanzados con una mayor complejidad tecnológica de las actividades espaciales (Szajnfarber & Weigel, 2010; Wood & Weigel, 2011, 2012b).

Entendiendo a la complejidad tecnológica de las actividades espaciales como un fenómeno producido por varias causas, las métricas planteadas comúnmente en la literatura no siempre capturan la multiplicidad de factores que determinan esta complejidad. Las limitaciones para medir la complejidad producen que los ordenamientos o clasificación de los países en base a los resultados de las mediciones también tengan limitaciones.

Además, a estos problemas se suma la inexistencia de una base de datos que compile y de estructura a los hitos y variables relevantes que permitan medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países. Esto dificulta la confección de métricas que tengan en cuenta de manera simultánea varios de estos hitos y variables. También, esta falta de información estructurada genera una mayor dificultad para comparar la complejidad tecnológica de las actividades espaciales entre varios países.

Adicionalmente, en los últimos años se observa un rápido avance de las tecnologías espaciales, generando nuevas actividades espaciales de frontera (como el turismo espacial, minería de asteroides, etc.). Estas actividades comprenden un mayor nivel de complejidad tecnológica, y no son consideradas en las métricas de complejidad tecnológica utilizadas habitualmente en la literatura, pudiendo ser estas un factor relevante a tener en cuenta para estudiar y comparar la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países.

A partir de esto se presenta como objetivo general de la presente tesis, medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales implementando métricas más completas a las presentadas habitualmente en la literatura para tal fin. Para alcanzar dicho objetivo general se

plantean los siguientes objetivos particulares: (i) sistematizar los datos vinculados a hitos y variables que sean aproximaciones de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales; (ii) medir la complejidad tecnológica de los países que no se encuentran en la frontera tecnológica respecto a sus actividades espaciales implementando las métricas comúnmente utilizadas en la literatura; (iii) analizar los resultados de las mediciones y observar las limitaciones de estas métricas; (iv) confeccionar métricas que resuman todas las medidas planteadas en (ii) y ordenar a los países según la complejidad tecnológica que les asigne las métricas resumen y; (v) realizar un análisis descriptivo que permita tener en cuenta las actividades espaciales que no hayan sido incluidas en los objetivos previos, y que impliquen tecnología de frontera.

Siguiendo el objetivo general y los objetivos específicos se plantean las siguientes hipótesis de investigación:

1. Las métricas utilizadas usualmente en la literatura para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países poseen limitaciones que sesgan la medición de dicha complejidad.
2. Resumir la información de varias variables que representan la complejidad tecnológica de las actividades espaciales permite hacer una medición más completa de la complejidad tecnológica de estas actividades.
3. Las actividades de frontera aportan información relevante para la medición de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales.

Expuesto el problema a tratar, los objetivos y las hipótesis, y teniendo en cuenta que, en la literatura sobre medición de complejidad tecnológica de las actividades espaciales, se utilizan diferentes métricas para la medición de dicha complejidad las cuales presentan limitaciones, resulta pertinente observar:

1. ¿Cómo influyen las limitaciones de las métricas utilizadas habitualmente en la literatura en la medición de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales?

En base a la influencia de las limitaciones que presentan las mediciones resultantes de las métricas de complejidad tecnológica de las actividades espaciales utilizadas habitualmente en la literatura, y, entendiendo que la complejidad tecnológica de las actividades espaciales comprende varias variables o hitos de manera simultánea, se plantea:

2. ¿Qué tan útil sería la confección de indicadores que sinteticen las variables utilizadas en las métricas utilizadas habituales que miden la complejidad tecnológica de las actividades espaciales?

Considerando la rápida evolución de las actividades espaciales y el aumento de complejidad tecnológica que esta implica, además que estas actividades no son consideradas en las métricas de complejidad tecnológica utilizadas comúnmente en la literatura, es importante preguntarse:

3. ¿Cuán relevantes son las actividades de frontera desarrolladas por los países en desarrollo espacial para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales?

En resumen, la falta de trabajos destinados a medir la complejidad de las actividades espaciales de los países y ordenarlos según dicha complejidad, junto con las limitaciones de las métricas utilizadas para tal fin son problemas que motivan la búsqueda de su solución por medio del presente trabajo.

### **3. Marco teórico**

#### **3.1 Los aspectos fundamentales de la tecnología en el desarrollo económico**

La base analítica de la temática trabajada se encuentra enmarcada en la literatura neo-Schumpeteriana dentro del campo del cambio tecnológico. Lall (2000) entiende al desarrollo económico como un proceso evolutivo que se lleva adelante mediante el aprendizaje tecnológico, además este autor entiende al cambio económico en el largo plazo como la co-evolución de las tecnologías en uso y las estructuras institucionales (Nelson, 2008). En ese sentido, tal y como señalan Dahlman & Nelson (1995), resulta importante para las industrias tener capacidades de absorción con el fin de adquirir conocimientos ya desarrollados. Estas capacidades están determinadas principalmente por el nivel de esfuerzo de una nación en actividades de investigación y desarrollo (I+D), la disponibilidad de personal calificado y la existencia de fuertes vínculos entre los diferentes actores del sistema nacional de innovación, por ejemplo, empresas, universidades y centros de investigación (Dahlman & Nelson, 1995). En esta línea, tanto la tecnología entendida como la composición de varios componentes (e.g. conocimientos, técnicas, etc.) que se combinan para lograr un propósito específico (Arthur, 2009; Hargadon, 2003) así como también, las capacidades de absorción tecnológica, definidas por Brunner (1991) como la habilidad para adaptar, transferir y difundir tecnologías, son factores centrales que impulsan el desarrollo económico.

Por otra parte, el nivel de desarrollo económico se encuentra determinado por la complejidad tecnológica (Velosa García & Sánchez Ayala, 2012), definida por Broekel (2019) y Fleming & Sorenson (2001) como el número de componentes que se combinan en un proceso productivo, la forma en la cual se hace esta combinación y la intensidad de la combinación de los componentes. En la literatura suele asociarse un mayor nivel de desarrollo económico a un mayor nivel de complejidad tecnológica, tanto a nivel país como a nivel de rama de actividad o industrias. Es por ello que la medición de la complejidad tecnológica puede considerarse un aspecto relevante ya que, entre otras cosas, permite observar el nivel de desarrollo de una industria, sector o país (García-Muiña & Navas-López, 2007).

### 3.2 Métricas de complejidad tecnológica

Existen varias formas de medir la complejidad tecnológica, tanto a nivel micro (productos, sectores o industrias dentro de un país) como a nivel macro (complejidad tecnológica del país de manera agregada). Estas formas de medición emplean técnicas como la construcción de índices, redes bimodales y técnicas de estadística aplicada (tales como regresiones lineales, componentes principales, clusterización), entre otras.

También suelen usarse diversas variables para dimensionar la complejidad tecnológica. Broekel (2019) y Ballan & Rigby (2017) miden la complejidad tecnológica, de los países de la OCDE en el primer caso y de diferentes Estados de EEUU en el segundo, utilizando la cantidad de patentamientos como variable proxy de la complejidad tecnológica. A partir de esto se diseñan redes bimodales en las cuales los nodos representan los espacios geográficos (países en un caso, Estados de EEUU en el otro), y la cantidad de patentes el número de conexiones entre los nodos, vinculándose una mayor cantidad de conexiones con un mayor nivel de complejidad tecnológica.

Otra forma adoptada en la literatura para medir la complejidad tecnológica, a nivel micro, es tener en cuenta ciertas variables, como la cantidad de partes únicas de un producto, el número de horas utilizadas para la fabricación y el número de personas empleadas en el proceso productivo. Estas variables se asocian positivamente con la complejidad tecnológica, es decir, cuantas más piezas únicas tenga un producto o cuantas más personas se empleen en la fabricación de un producto mayor será la complejidad tecnológica de este (Heijs & Buesa, 2016).

Dentro de esta literatura hay trabajos que utilizan la integración vertical de las plantas productivas, los niveles de innovación y el grado de certificación de los procesos y productos para medir la complejidad tecnológica. Utilizando estas variables, Carrillo & Gomis (2005) miden la complejidad tecnológica de la industria maquiladora en México empleando los métodos estadísticos de clusterización y componentes principales, encontrando heterogeneidad en la complejidad tecnológica de la industria maquiladora mexicana, dependiendo del lugar geográfico en el cual se radican las firmas de esta industria. Velosa García & Sánchez Ayala (2012), aplicando las mismas variables que Carrillo & Gomis (2005), y también el método de componentes principales miden la complejidad tecnológica de la industria metalmecánica colombiana. Además, realizan en base a sus resultados, un ordenamiento de las firmas dentro de esta industria, de más a

menos compleja, encontrando brechas de complejidad tecnológica entre las diferentes firmas que componen la industria metalmeccánica colombiana.

Utilizando métodos estadísticos similares (análisis de correlación, análisis de regresión y análisis de componentes principales) Ollivier Fierro (2007) estudia la complejidad tecnológica de los procesos productivos de la industria manufacturera mexicana. Utilizando como variables para su análisis la inversión de las empresas de las industrias, el grado de automatización de los procesos productivos, nivel de empleo y el valor agregado por trabajador. En sus análisis, el autor concluye que las empresas más pequeñas realizan menores inversiones y poseen un grado de automatización más bajo respecto a las empresas de mayor tamaño, lo cual conlleva a que sus procesos productivos presenten una menor complejidad tecnológica.

A nivel macro, existen diversos estudios que miden la complejidad tecnológica de los países. Moya (2014) analiza de forma cualitativa la complejidad tecnológica partiendo del concepto de frontera tecnológica, teniendo en cuenta variables como inversión en capital humano, porcentaje del PBI, cooperación entre países para la innovación, cantidad de patentamientos por país, políticas y leyes que incentivan el desarrollo de la ciencia y técnica, entre otros. Posiciona a EEUU en la frontera tecnológica y la diferencia que presentan los valores de las variables de los países de Latinoamérica y la OCDE respecto a los valores de las variables de EEUU representan la brecha de complejidad tecnológica entre los países y EEUU. Otros autores miden la complejidad tecnológica de las exportaciones de los países en base a clasificaciones según el contenido tecnológico de la exportación (Lall, 2000). También suele asociarse una mayor complejidad en los procesos de fabricación de productos exportables con un mayor nivel de complejidad tecnológica, y se ordenan a los países que fabrican estos productos según el grado de dicha complejidad (Yang, 2020).

Además, existen estudios que aplican técnicas estadísticas para medir la complejidad tecnológica de las exportaciones de los países y que toman esto como aproximación de esta complejidad. Por ejemplo, Lall et. al (2006) miden la complejidad tecnológica de los productos exportables de los países de Europa, América del Norte y del Sudeste Asiático, mediante la construcción de un índice que tiene en cuenta aspectos del proceso productivo del producto exportable (por ejemplo, cuán fragmentable es el proceso productivo, la infraestructura necesaria

para producir, la organización de la cadena global de valor, etc.) para posteriormente generar un ordenamiento de los países según la complejidad tecnológica que expone el índice.

### **3.3 Métricas de complejidad tecnológica de actividades espaciales**

Las actividades espaciales se enmarcan en la economía del espacio, definida como: “la gama completa de actividades y uso de recursos que crean valor y generan beneficios para los seres humanos en el curso de la exploración, la comprensión, la gestión y el uso del espacio” (OECD, 2012, p. 20). Dentro de la literatura sobre economía del espacio, existen escasos trabajos que miden la complejidad tecnológica de las actividades espaciales. Los pioneros en el desarrollo de estas métricas fueron Szajnfarber & Weigel (2010), planteando que la medición de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales, particularmente, de los países que no se encuentran en la frontera tecnológica, es una tarea difícil. Para medir dicha complejidad tecnológica, los autores utilizan el método estadístico de regresión lineal simple, en donde la variable explicada es el precio de los satélites, y las variables explicativas son las características técnicas de estos, por ejemplo, la cantidad de instrumentos, el peso de los satélites, entre otras. Realizada esta regresión se concluye que los satélites que son más complejos (por ejemplo, más pesados, tienen más instrumentos), tienen un precio mayor respecto a aquellos satélites que poseen características técnicas asociadas a una menor complejidad tecnológica (tales como un menor número de instrumentos).<sup>3</sup> Esta métrica solo tiene en cuenta los satélites de telecomunicaciones lo cual es una limitación para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales. Esto se debe a que se dejan de lado satélites de observación de la tierra, científicos, entre otros, que son los tipos de satélites que se construyen con mayor frecuencia en la mayoría de los países. Además, existe tecnología en los satélites de observación de la tierra que es más compleja que la tecnología de los satélites de comunicaciones la cual no considera dicha métrica.

Otra manera en la que literatura midió la complejidad tecnológica de las actividades espaciales fue mediante un análisis descriptivo de los diferentes hitos espaciales de diferentes países. Para ello se asoció una mayor complejidad tecnológica a las actividades espaciales de aquellos países que desarrollaron más hitos, como por ejemplo la cantidad de misiones espaciales

---

<sup>3</sup> Ver Anexo de características técnicas.

en las que participó un país (Wood & Weigel, 2011). Posteriormente esta forma de medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales se volvió más sofisticada mediante la implementación de escaleras de misión y gestión. Estas escaleras cuantifican la cantidad de hitos totales que realizó un país, principalmente la cantidad total de satélites (tanto de fabricación local como comprados) y en cuantos programas espaciales participaron los países, estableciendo una relación positiva tanto de los hitos, como con la participación en programas espaciales con una mayor complejidad tecnológica. Establecida esta relación, se ordena a los países de mayor a menor complejidad tecnológica, tanto de sus hitos como de su participación en programas espaciales (Wood & Weigel, 2012a). Esta métrica no considera aspectos tales como la autonomía de las actividades espaciales, las características técnicas de los satélites (como el tipo de satélites, peso, número de instrumentos, etc.) entre otras, que son determinantes de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales.

Por otra parte y para sofisticar trabajos anteriores, Wood & Weigel (2012b) elaboraron una de las métricas más conocidas en la literatura, la *Space Technology Ladder* (STL) o Escalera Tecnológica Espacial. Esta métrica comprende el nivel de autonomía de hitos que van desde el establecimiento de una agencia espacial, hasta el desarrollo de las capacidades necesarias para lanzar satélites, pasando por la adquisición y construcción de los diferentes tipos de satélites. La STL permite medir la complejidad tecnológica según la autonomía de las actividades espaciales de los países, es decir, relaciona una mayor autonomía con un nivel de complejidad tecnológica más elevado. Los hitos comprendidos en esta métrica están ordenados en categorías (tales como capacidad de lanzamiento, agencia espacial, etc.) de manera decreciente según su nivel de autonomía.<sup>4</sup> Adicionalmente, en cada una de las categorías se clasifican los hitos por subniveles de autonomía de manera decreciente (Tabla 1)<sup>5</sup>. En resumen, si bien la STL aborda de una manera más sofisticada la medición de complejidad respecto a las escaleras de misión y gestión, presentadas por Wood & Weigel (2011) y Wood & Weigel (2012a), también tiene limitaciones.

---

<sup>4</sup> Y, en consecuencia, según su nivel de complejidad tecnológica.

<sup>5</sup> Es pertinente aclarar que en la órbita terrestre media (MEO) se encuentran satélites de geolocalización de los sistemas GPS (Estados Unidos), GLONASS (Rusia) y Galileo (Unión Europea). Los dos primeros son sistemas de uso y control militar, por ello no se tienen en cuenta este tipo de satélites. Por otra parte, el sistema Galileo es de gestión civil, pero los países que desarrollaron estos satélites no se encuentran dentro de los criterios de selección del presente trabajo.



**Tabla 1. Escaleta Tecnológica Espacial (STL)**

Categoría	Nivel	Subnivel	Hito
Capacidad de Lanzamiento	13	2	Capacidad de Lanzamiento: Satélite GEO
	12	1	Capacidad de Lanzamiento: Satélite LEO
Satélite Geoestacionario (GEO) <sup>6</sup>	11	4	Satélite GEO: Construcción Local
	10	3	Satélite GEO: Construcción Mediante Colaboración Internacional
	9	2	Satélite GEO: Construcción Local con asistencia externa
	8	1	Satélite GEO: Adquisición del Satélite
Satélite de Órbita Baja (LEO) <sup>7</sup>	7	5	Satélite LEO: Construcción Local
	6	4	Satélite LEO: Construcción Mediante Colaboración Internacional
	5	3	Satélite LEO: Construcción Local con asistencia externa
	4	2	Satélite LEO: Construcción con Soporte en las Instalaciones de los Socios
	3	1	Satélite LEO: Adquisición del Satélite y los Servicios de Entrenamiento
Agencia Espacial	2	2	Agencia Espacial: Establecer una Agencia Espacial
	1	1	Agencia Espacial: Establecer la Primera Oficina Espacial Nacional

Fuente: Elaboración propia en base a Wood & Weigel (2012b).

López et al. (2018) aplican la STL para el caso argentino y realizan críticas a las limitaciones de dicha métrica. Estos autores sostienen que la métrica planteada por Wood & Weigel (2012b) no tiene en cuenta las características técnicas de los satélites (peso, componentes, altura que alcanzan) y que la métrica no es lineal. Es decir, no es necesario pasar por todos los niveles de manera progresiva, sino que se pueden producir “saltos” entre los niveles de autonomía o escalones. Si bien López et al. (2018) realizaron estas críticas, no plantearon una métrica alternativa que considere las cuestiones omitidas por la STL para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países.

#### 4. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se recolectó información de diferentes hitos, alcanzados a diciembre de 2020, los cuales representan la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de diferentes países. El presente trabajo considera a países que cumplen con dos requisitos: (i) que el país haya lanzado o adquirido uno o más satélites y; (ii) que el país no realice lanzamientos de satélites de manera comercial. Los dos criterios adoptados para el armado del grupo de países que se estudiarán establecen características mínimas y máximas que estos deben

<sup>6</sup> Son aquellos satélites que se encuentran a una altura de aproximadamente 36.000 kilómetros desde la superficie terrestre y giran a esa altura en el mismo sentido y a la misma velocidad que la Tierra. Por simplicidad suelen denominarse “Satélites GEO”.

<sup>7</sup> Son satélites que orbitan alrededor de la Tierra en alturas que van desde los 200 km hasta los 1000 km de altura desde la superficie terrestre. Por simplicidad suelen denominarse “Satélites LEO”.

tener para poder encontrarse en el grupo de estudio. Además, permiten seleccionar a aquellos países que no se encuentran en la frontera tecnológica respecto a sus actividades espaciales. A este grupo de países se los definirá en este trabajo con el nombre de países en desarrollo espacial y, se utilizará la abreviatura establecida por la norma ISO 3166-1 alpha 3<sup>8</sup> para asignar una sigla a cada uno de ellos. Esto facilitará la exposición de los datos a lo largo del trabajo (Tabla 2).

**Tabla 2. Conjunto de países y su codificación**

País	ISO 3166-1 alpha3	País	ISO 3166-1 alpha3	País	ISO 3166-1 alpha3	País	ISO 3166-1 alpha3
Arabia Saudita	SAU	Corea del Norte	PRK	Irak	IRQ	Perú	PER
Argelia	DZA	Corea del Sur	KOR	Irán	IRN	Singapur	SGP
Argentina	ARG	Costa Rica	CRI	Israel	ISR	Sudáfrica	ZAF
Bolivia	BOL	Ecuador	ECU	Kazajistán	KAZ	Tailandia	THA
Brasil	BRA	Egipto	EGY	Malasia	MYS	Turquía	TUR
Bulgaria	BGR	Emiratos Árabes Unidos	ARE	Marruecos	MAR	Uruguay	URY
Canadá	CAN	Filipinas	PHL	México	MEX	Venezuela	VEN
Chile	CHI	Guatemala	GTM	Nigeria	NGA	Vietnam	VNM
Colombia	COL	Indonesia	IDN	Paraguay	PRY		

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes.

La información recolectada fue, en particular, los hitos espaciales de cada uno de los países en desarrollo espacial vinculados a la complejidad tecnológica de las actividades espaciales. Esta información comprende aspectos como el número de satélites, sus características técnicas (Ver Anexo de Características Técnicas), si el satélite se fabricó localmente o se compró, si el país estableció una agencia y las actividades espaciales de frontera en las que participan estos países (e.g. misiones espaciales tripuladas, ciencia espacial, entre otros). Una vez recolectada la información, se organizó y sistematizó en una tabla única con el fin de facilitar el procesamiento de los datos.

La información de los hitos espaciales se recolectó de diversas fuentes: (i) del *International Designator* o *NSSDC ID* (Tabla A.F. 2), la cual es una base de datos de la NASA en donde se registran los satélites lanzados por todos los países; (ii) de las agencias espaciales de cada país (Tabla A.F. 3); (iii) de sitios web de los fabricantes de satélites (Tabla A.F. 1) y; (iv) de sitios web

<sup>8</sup> Esta norma es utilizada por las Naciones Unidas para abreviar los nombres de los países.

especializados (Tabla A.F. 2). Una vez armada la base de datos, se emplearon las métricas comúnmente utilizadas en la literatura para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países en desarrollo espacial, y se ordenaron estos según los resultados que surgen de aplicar estas métricas.

Al momento de utilizar las métricas mencionadas anteriormente, para ordenar a los países de acuerdo las variables que están consideran, es decir: (i) tipo de satélites (e.g. GEO, LEO); (ii) procedencia de los satélites (e.g. locales, comprados) y; (iii) cantidad de los satélites de cada país, surgen varias consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de analizar los resultados.

En principio, aproximadamente el 60% de los satélites de los países en desarrollo espacial son comprados<sup>9</sup> y, en consecuencia, varios de los países que integran este grupo poseen un gran número de satélites comprados, teniendo escasas o nulas capacidades para desarrollar satélites de manera local. Por ejemplo, en lo que respecta a satélites comprados, Bolivia cuenta con un 100%; Indonesia que posee un 85%; Canadá con un 78; Brasil con un 73%. Con estos ejemplos, si se tiene en cuenta los satélites totales o comprados para ordenar a los países en desarrollo espacial, en los ordenamientos quedarán en las primeras posiciones países con muchos satélites, la mayoría comprados, los cuales no tienen, o tienen de manera escasa, capacidades de desarrollar satélites localmente (Ver Anexo Metodológico Parte A). Si se observan los satélites LEO comprados, Indonesia posee solo 3 de sus 20 satélites de órbita baja producidos de manera local, siendo los 17 restantes comprados. En el caso de Arabia Saudita, 8 de los 10 satélites son de producción local y el resto comprados. Por el contrario, Argentina posee 8 satélites todos de producción local. De esta manera, un ordenamiento que tenga en cuenta la complejidad tecnológica debería colocar a Argentina en un lugar más alto que Indonesia o Arabia Saudita, a pesar de que en total cuenta con menos satélites

Sin embargo, considerando los satélites comprados, países con menor complejidad tecnológica en sus actividades espaciales (e.g. Indonesia, Arabia Saudita) se ubican por encima de Argentina, país que desarrolla actividades con mayor complejidad tecnológica. Y, por lo tanto, debería ubicarse por encima de los países del ejemplo (Ver Anexo Metodológico Parte A). Es por esto que no se considerarán los satélites comprados por los países en desarrollo espacial.

---

<sup>9</sup> En donde, cerca del 89% de estos satélites comprados son GEO y el 11% restante LEO.

Otra consideración para tener en cuenta es que en el mundo existen solo 8 países<sup>10</sup> en donde se presentan las capacidades necesarias para fabricar localmente satélites GEO. Dentro de los países en desarrollo espacial solo dos países tienen estas capacidades, Argentina (dos GEO locales) e Israel (cuatro GEO locales). Entonces, si se incluye en el análisis la cantidad de satélites GEO construidos de manera local, posiblemente esto beneficie de manera irrisoria a Argentina e Israel dentro de la muestra utilizada en el presente documento. (Ver Anexo Metodológico Parte A). Por lo tanto, ordenar a los países en desarrollo espacial por esta variable no aportaría información sustancial para observar la complejidad tecnológica de las actividades espaciales.

Por lo expuesto anteriormente, se tendrán en cuenta los satélites LEO fabricados localmente y con colaboración de países extranjeros para ordenar a los países en desarrollo espacial. Debido a que la mayor parte de estos tienen la capacidad de construir este tipo de satélites y, por ende, esta sería una buena variable de aproximación para la complejidad tecnológica de sus actividades espaciales. A partir de esto se implementaron las métricas comúnmente utilizadas en la literatura para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países (e.g. STL) y ordenar a los países en desarrollo espacial según los resultados de estas.

Luego, se observó el grado de similitud o diferencia entre todos los ordenamientos mediante el coeficiente de correlación de rango Tau-b de Kendall (Abdi, 2007; Bonett & Wright, 2000; Lapata, 2006), el cual compara de a pares los ordenamientos y corrige los empates entre estos, tomando un valor entre -1 (asociación negativa al 100%) y 1 (asociación positiva al 100%). Si el coeficiente de correlación de Kendall toma valor cero, este indica que no existe relación entre los diferentes ordenamientos (Ecuación 1).

$$\tau_b = \frac{n_c - n_d}{\sqrt{\left[ \frac{n(n-1)}{2} - \frac{\sum_i t_i(t_i-1)}{2} \right] \left[ \frac{n(n-1)}{2} - \frac{\sum_j t_j(t_j-1)}{2} \right]}} \quad (1)$$

En donde:

- $\tau_b$ : Coeficiente Tau-b de Kendall.
- $n$ : Número de variables o elementos.
- $n_c$ : Representa el número de pares concordantes entre ordenamientos.

---

<sup>10</sup> Argentina, China, Estados Unidos, India, Israel, Japón, Rusia y la Unión Europea.

- $n_d$ : Representa el número de pares discordantes entre ordenamientos.
- $t_i$ : Representa el número de empates en  $i^{\text{th}}$  grupos para el primer ordenamiento.
- $t_j$ : Representa el número de empates en  $j^{\text{th}}$  grupos para el primer ordenamiento.

Además, se calculó la media de cada variable relevada, y se diseñó un indicador que toma el valor cero si la variable para un país determinado se encuentra por debajo de la media, y un valor de uno si dicho valor se encuentra por encima de la media. A partir de esto, se contabilizó el número de variables de cada país que se encuentran por encima de la media y se los ordenó en base a esto, con el fin de capturar la complejidad tecnológica de las actividades espaciales que realizan los países en desarrollo espacial.

A partir de los coeficientes Tau-b de Kendall y, de los resultados obtenidos del indicador de la media de las variables, se compararon los diferentes ordenamientos. De esta forma, se pudo obtener respuesta a cuán similares son los ordenamientos obtenidos de aplicar las métricas mencionadas anteriormente. Y, por lo tanto, cuán similar es la complejidad tecnológica de las actividades espaciales llevadas a cabo por los países en desarrollo espacial.

Para responder la segunda pregunta de investigación se confeccionó un indicador sintético que agrupa la información recolectada, con el fin de ordenar a los países en desarrollo espacial de acuerdo con la complejidad tecnológica de sus actividades. Para ello, se normalizaron los valores de las variables, restando a cada valor su media y dividiéndolo por su desvío estándar (Ecuación 2) debido a que las variables utilizadas poseen diferente unidad de medida<sup>11</sup>. Posteriormente se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (Ecuación 3) para determinar el grado y sentido de la asociación entre las diferentes variables para cada uno de los países.<sup>12</sup> Concluido estos pasos, se aplicó la técnica estadística conocida como Componentes Principales (Ver Anexo Metodológico Parte B), para resumir la información recolectada de las distintas variables de complejidad tecnológica relevadas.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

En donde:

---

<sup>11</sup> Este paso es necesario para aplicar posteriormente la técnica estadística de componentes principales para poder darle a todas las variables la misma importancia estadística al aplicar esta técnica.

<sup>12</sup> Tanto la normalización de los valores de los datos como el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson son pasos necesarios para aplicar Componentes Principales. Debido a que los datos que se utilicen en esta técnica deben estar correlacionados y tener un valor entre cero y uno.

- Z: Representa la variable normalizada.
  - X: Representa la variable sin normalizar.
  - $\mu$ : Representa la media de la variable X.
- $\sigma$ : Representa el desvío estándar de la variable X.

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{X,Y}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3)$$

En donde:

- $\rho_{X,Y}$ : es el coeficiente de correlación de Pearson entre X e Y.
- $\sigma_X$ : es la desviación estándar de la variable X.
- $\sigma_Y$ : es la desviación estándar de la variable Y.

Resumida la información se utilizó el criterio de Kaiser (Kaiser, 1960; Yeomans & Golder, 1982) para seleccionar el número de componentes necesarios para explicar la estructura original de los datos. Una vez seleccionados el número de componentes, basándose en la metodología expuesta por Nardo et al. (2005) y Krishnan (2010), se construyó el indicador sintético considerando una ponderación de acuerdo a la variabilidad de los datos que cada uno de estos componentes explica (Ecuación 4). Luego, se ordenan a los países según el valor del indicador sintético, considerando a este como una aproximación de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales.

$$IS = \left(\frac{V_{cp1}}{V_c}\right) x CP_1 + \left(\frac{V_{cp2}}{V_c}\right) x CP_2 + \dots + \left(\frac{V_{cpn}}{V_c}\right) x CP_n \quad (4)$$

En donde:

- IS: Indicador Sintético.
- $V_{cp1}$ : Variabilidad explicada por el componente uno.
- $V_{cp2}$ : Variabilidad explicada por el componente dos.
- $V_{cpn}$ : Variabilidad explicada por el componente  $n$ .
- $V_c$ : Variabilidad conjunta explicada por ambos componentes.
- $CP_1$ : Sumatoria del producto de los coeficientes del primer componente principal y los valores de cada variable.
- $CP_2$ : Sumatoria del producto de los coeficientes del segundo componente principal y los valores de cada variable.

- $CP_n$ : Sumatoria del producto de los coeficientes del  $n$  componente principal y los valores de cada variable.

Utilizando nuevamente el coeficiente de correlación Tau-b de Kendall, se comparó si existía similitud entre los ordenamientos resultantes de la aplicación de las métricas habituales y, el ordenamiento generado a partir del indicador sintético. Con el análisis de los resultados de estos coeficientes, se obtiene la información necesaria para responder la segunda pregunta de investigación.

Por último, se realizó un análisis descriptivo para determinar cuáles de los países en desarrollo espacial se encuentran llevando adelante alguna de las actividades espaciales consideradas de frontera o planean hacerlo. Para luego, ordenar a los países según las actividades de frontera que realizan o planean realizar, y se observó que tan similar es este ordenamiento respecto a los ordenamientos hallados anteriormente. Con este último ejercicio se obtendrá una respuesta para la tercera pregunta de investigación.

## **5. Hallazgos/desarrollo**

### **5.1 Ordenamientos según métricas utilizadas comúnmente en la literatura**

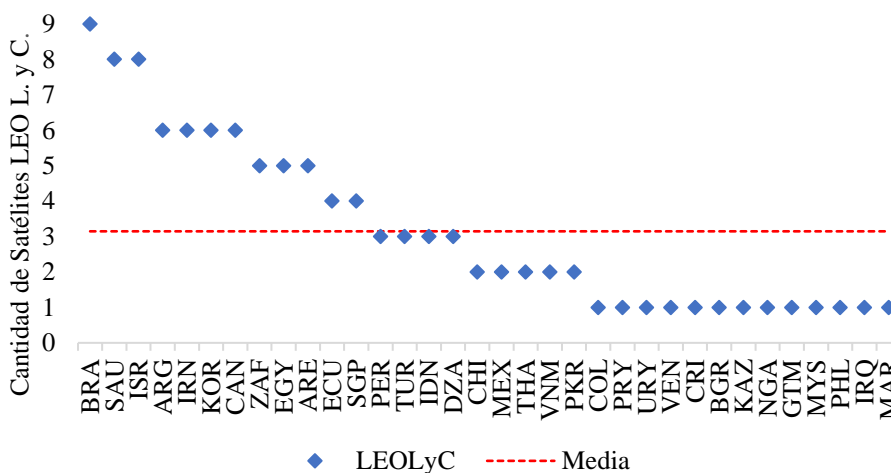
#### **5.1.1 Tipo, procedencia y cantidad de satélites**

Una de las variables que suele considerarse como aproximación de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países, es la cantidad de satélites de estos. Particularmente aquellos satélites construidos de manera local, con capacidades propias, o construidos con la colaboración de otro país o agencia espacial. Teniendo en cuenta la cantidad de satélites LEO construidos localmente o con colaboración (de aquí en adelante satélites LEO L. y C. con el fin de mejorar la exposición), se puede observar que la cantidad media de estos satélites para los países en desarrollo espacial es un poco superior a tres. De esta forma, el 35% de los países en desarrollo espacial posee una cantidad de satélites LEO L. y C. que se encuentra por encima de la media (cuatro o más satélites). Y, que el 65% de los países restantes cuenta con una cantidad menor de satélites que la media (tres o menos).

Si se ordenan los países en desarrollo espacial por la cantidad de satélites LEO L. y C. Brasil encabeza el ordenamiento con nueve satélites. Al observar el quintil superior del

ordenamiento, este se encuentra integrado, en conjunto con Brasil, por países como Israel, Canadá, Arabia Saudita, Argentina, entre otros. La característica principal que comparten estos países es que poseen siete o más satélites LEO L. y C. Además, es importante remarcar que cerca del 38% de los países en desarrollo espacial (trece países) poseen un solo satélite LEO fabricado localmente o con colaboración, es decir, casi todos los países que ocupan los quintiles más bajos del ordenamiento. Este grupo de países está compuesto por Filipinas, Kazajistán, Guatemala, Nigeria, Costa Rica, entre otros. Por otra parte, los países que se ubican en los quintiles que corresponden al centro del ordenamiento, son aquellos países que pudieron desarrollar de manera local dos o tres satélites LEO L. y C. (nueve países). Entre estos países se encuentran Chile, México, Indonesia, Turquía, etc. (Gráfico 1).

**Gráfico 1. Cantidad de satélites LEO locales y con colaboración por país**



Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

Entonces, si se ordenan a los países en desarrollo espacial por la cantidad de satélites LEO L. y C. que desarrollaron, los países que componen el quintil superior del ordenamiento lograron fabricar siete o más satélites. Adicionalmente, se puede dividir la muestra de países en tres grupos según la similitud en la cantidad de satélites que poseen. El grupo superior está conformado por los países que se encuentran en los dos primeros quintiles, y que poseen cuatro o más satélites.<sup>13</sup> El grupo inferior estaría compuesto por los países que desarrollaron solo un satélite. Y, por último,

<sup>13</sup> En otras palabras, la cantidad de satélites que tiene cada país se encuentra por encima de la cantidad media de satélites.



un grupo intermedio a los anteriormente mencionados, el cual se conforma con aquellos países que pudieron construir dos o tres satélites.

Se puede concluir en base a la cantidad de satélites LEO L. y C. de los países en desarrollo espacial que, aquel grupo que posee cuatro o más satélites reviste una mayor complejidad tecnológica en sus actividades espaciales. Esta complejidad decrece a medida que lo hace la cantidad de satélites de los países, el grupo compuesto por aquellos países que poseen dos o tres satélites se podría considerar moderada y, aquellos países que conforman el grupo más bajo del ordenamiento, aquellos que desarrollaron solo un satélite, tendrían una complejidad baja en sus actividades espaciales.

### **5.1.2 Ordenamientos a partir de la STL**

A partir del trabajo realizado por Wood & Weigel (2012b), en el cual se presenta una métrica de complejidad tecnológica de las actividades espaciales, conocida como *Space Technology Lader* (STL), se clasifican hitos espaciales que revisten distintos niveles de complejidad tecnológica en diferentes escalones. Se ordena a los países en desarrollo espacial según dos criterios: (i) el escalón más alto alcanzado en la STL y; (ii) la cantidad de escalones alcanzados en la STL, con el fin de determinar la complejidad tecnológica de las actividades de los países en desarrollo espacial. El primero de estos ordenamientos permite determinar que, países logro alcanzar hitos espaciales más complejos desde el punto de vista tecnológico, mientras que el segundo permite observar la cantidad de hitos alcanzados como proxy de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales.

Al ordenar a los países en desarrollo espacial por el escalón más alto alcanzado en la STL, se puede concluir que este ordenamiento permite observar que países están en el extremo superior e inferior del ordenamiento. Ya que, en el medio del ordenamiento la mayoría de los países ocupan el mismo escalón, es decir, se ubican en la misma posición. En base a esto se observa que cuatro de estos países<sup>14</sup> encabezan el ordenamiento, los cuales alcanzaron el hito de poder lanzar satélites propios. Si bien alguno de estos países actualmente se encuentra promocionando la venta de servicios de lanzamiento comercial (lanzar satélites de otros países) como por ejemplo Israel con

---

<sup>14</sup> Irán, Corea del Sur, Israel y Corea del Norte.

su serie de lanzadores Shavit, al momento de realizar este trabajo no se registra que alguno de estos cuatro países haya realizado lanzamientos comerciales.

Por otro lado, el país que sigue de inmediato al grupo de los países con capacidades de lanzamiento en la parte superior del ordenamiento es Argentina, ya que logró construir satélites geoestacionarios de manera local<sup>15</sup> (e.g. ARSAT-1 y ARSAT-2), lo que determina un grado de complejidad tecnológica mayor en las actividades que realiza el país respecto a la compra o construcción de satélites de órbita baja. En esta línea, en la parte inferior del ordenamiento se ubica Marruecos, país que alcanzó el cuarto escalón de la STL<sup>16</sup> construyendo el satélite LEO de observación terrestre MAROC-TUBSAT en colaboración y en las instalaciones del instituto alemán *für Luft-und Raumfahrttechnik* radicado en Berlín. Un escalón por encima se encuentran países que lograron construir satélites LEO de manera local con colaboración externa, dentro de los países en desarrollo espacial solo el 8% de estos se ubican en este escalón.<sup>17</sup> Un ejemplo de esto es el caso de Guatemala que construyó el satélite Quetzal 1 con la colaboración de la agencia espacial japonesa (JAXA).

En el centro del ordenamiento se ubican el resto de los países en desarrollo espacial, en donde aproximadamente el 20% de estos alcanzaron el hito de desarrollar al menos un satélite de órbita baja de manera local. En este caso, se puede tomar como ejemplo a Paraguay que logró construir el satélite de órbita baja denominado GuaraniSat-1. Por último, casi el 53% de los países en desarrollo espacial se encuentra en el escalón número ocho de la STL, al cual se accede mediante la compra de al menos un satélite geoestacionario.

Si se ordenan a los países en desarrollo espacial por la cantidad de escalones alcanzados en la STL se puede observar que aproximadamente el 65% de estos países alcanzaron tres o cuatro escalones, lo que se podría asociar con un nivel moderado de complejidad tecnológica de las actividades espaciales. Por encima de este grupo de países se encuentra Israel (alcanzó seis escalones y lidera el ordenamiento) y Corea del Sur (alcanzó cinco escalones), según esta variable, se puede decir que estos países poseen una complejidad alta en sus actividades espaciales. Por

---

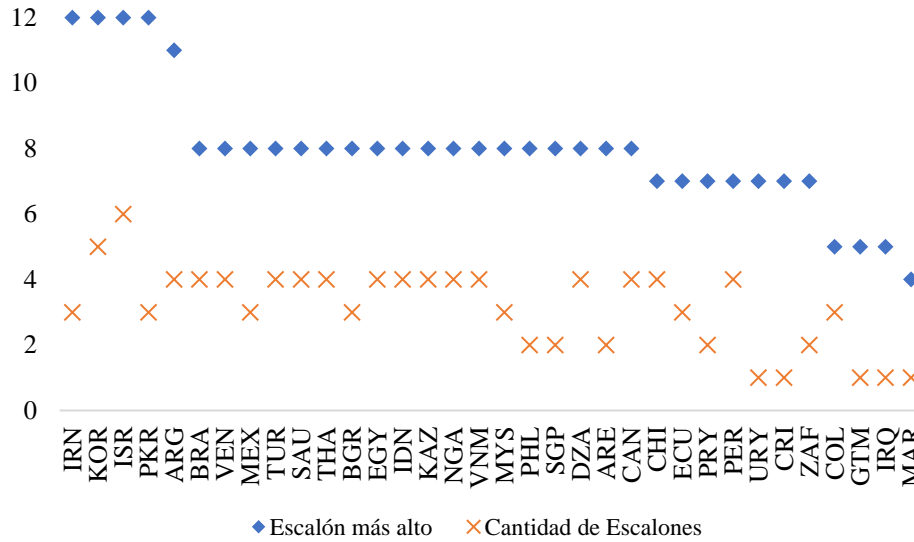
<sup>15</sup> Es importante recordar que dentro de los países en desarrollo espacial solo Argentina e Israel lograron construir de manera local este tipo de satélites.

<sup>16</sup> Construcción de satélite LEO con Soporte en las Instalaciones de los Socios.

<sup>17</sup> Estos países son Colombia, Guatemala e Iraq.

último, cerca de un 29% de los países en desarrollo espacial alcanzaron uno o dos escalones lo que se podría asociar con un bajo nivel de complejidad de sus actividades espaciales (Gráfico 2).

**Gráfico 2. Ordenamientos en base a la STL**



Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

A partir de lo expuesto anteriormente se pueden observar varias de las limitaciones de la STL, alguna de ellas planteadas por López et. al (2018). Por ejemplo, no siempre la mayoría de los países que alcanzaron un mayor número de escalones, lograron alcanzar escalones más altos en la STL. Esto quiere decir que se pueden producir “saltos” en los niveles de autonomía que se plantean en la STL. Se puede tomar a Singapur como ejemplo de esto, ya que este país alcanzó solamente dos escalones, pero logro arribar a el octavo escalón de la STL. Adicionalmente, en estos dos ordenamientos en base a la STL no se tienen en ciertas características técnicas como la cantidad de instrumentos o el peso de los satélites. Es por esto por lo que los ordenamientos que se pueden realizar en base a la STL tienen limitaciones, las cuales pueden llegar a solucionarse con el aporte de métricas complementarias.

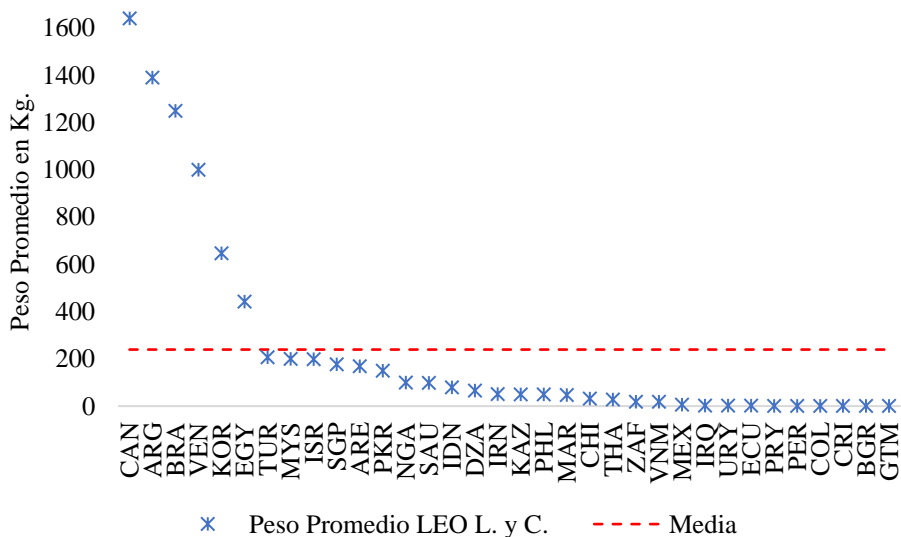
### 5.1.3 Ordenamientos por peso y número de instrumentos promedio

Otras variables que pueden determinar la complejidad tecnológica de las actividades espaciales son el peso promedio y el número de instrumentos promedio de los satélites LEO L. y C. Vinculando un mayor peso promedio y mayor cantidad de instrumentos promedio a un mayor

nivel de complejidad tecnológica y, en consecuencia, un menor peso promedio y menor cantidad de instrumentos promedio a un menor nivel de complejidad tecnológica.

Al utilizar el peso promedio de los satélites LEO L. y C. como aproximación de la complejidad tecnológica y ordenar a los países en desarrollo espacial en base a este, se puede observar que aproximadamente solo el 18% de los países en desarrollo espacial poseen satélites más pesados que la media (Gráfico 4). Adicionalmente los países que no se encuentran en el primer quintil de los ordenamientos expuestos anteriormente como por ejemplo Turquía e Indonesia. Sin embargo, en el primer quintil del ordenamiento en base al peso promedio, hay ciertos países (e.g. Argentina, Brasil, etc.) que se encuentran en el primer quintil de los ordenamientos expuestos en los apartados anteriores. A pesar de esto, los países ubicados en los últimos dos quintiles del ordenamiento según el peso promedio coinciden con los países ubicados en los quintiles inferiores de los ordenamientos anteriores (e.g. Guatemala, Colombia, etc.). Esto demuestra que el ordenamiento por peso promedio coincide bien en como los países que se ubican en el extremo inferior de los ordenamientos anteriores pero la coincidencia no es tan exacta en la parte superior del ordenamiento.

**Gráfico 3. Ordenamiento según el peso promedio de los satélites**

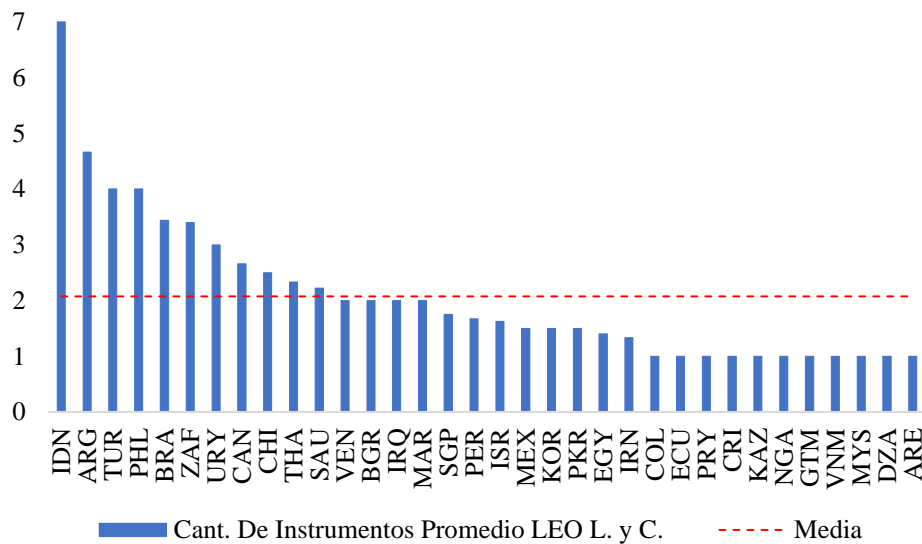


Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

Considerando a la cantidad de instrumentos promedio de los satélites LEO L. y C. como aproximación de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales, se observa que cerca del 32% de los países en desarrollo espacial tienen satélites con una cantidad promedio de

instrumentos por encima de la media. El ordenamiento lo encabeza Indonesia con siete instrumentos promedio por satélite, seguido de Argentina con casi cinco instrumentos promedio por satélite (Gráfico 4). Es importante señalar que en este ordenamiento ocurre algo similar al ordenamiento en base al peso promedio de los satélites. Es decir, en los primeros quintiles del ordenamiento si bien aparecen países que figuran en la parte superior de los ordenamientos expuestos con anterioridad, también figuran países que no estaban al principio de estos ordenamientos, como, por ejemplo, Indonesia o Filipinas. Sin embargo, en la parte inferior del ordenamiento se ubican países que siempre están en las últimas ubicaciones de los ordenamientos expuestos con anterioridad.

**Gráfico 4. Ordenamiento según cantidad de instrumentos promedio de los satélites**



Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

Es importante aclarar que los ordenamientos que surgen a partir de tomar el peso y número de instrumentos promedio como aproximación de complejidad tecnológica de las actividades espaciales poseen limitaciones. Por ejemplo, se dejan de lado varias variables importantes vinculadas a la complejidad tecnológica de las actividades mencionadas anteriormente, como por ejemplo la autonomía en la construcción de satélites, la cantidad de satélites, entre otras.

#### 5.1.4 Comparación entre los ordenamientos

Hasta el momento se expusieron ordenamientos que surgen de aplicar las métricas utilizadas habitualmente en la literatura, con el fin de medir la complejidad tecnológica de las actividades desarrolladas por los países en desarrollo espacial. A partir de esto, a simple vista, los

diferentes ordenamientos presentan similitudes y diferencias entre sí. Para obtener una medida más exacta de estas similitudes y diferencias se observan los coeficientes de Kendall Tau-b entre los diferentes ordenamientos (Tabla 3).

**Tabla 3. Coeficientes de Kendall Tau-b para los ordenamientos por características técnicas**

	Cantidad de Satélites LEO L. y C.	Escalón más alto	Cantidad de Escalones	Instrumentos promedio LEO L. y C.	Peso promedio LEO L. y C.
<b>Cantidad de Satélites LEO L. y C.</b>	1				
<b>Escalón más alto</b>	0,3944	1			
<b>Cantidad de Escalones</b>	0,3924	0,5176	1		
<b>Instrumentos promedio LEO L. y C.</b>	0,2316	0,0901	0,1212	1	
<b>Peso promedio LEO L. y C.</b>	0,4482	0,531	0,4213	0,2327	1

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

En base a los coeficientes de Kendall se observa que los ordenamientos más similares son los obtenidos a partir del escalón más alto alcanzado en la STL y el peso promedio de los satélites LEO L. y C., con un coeficiente de correlación de Kendall de 0,53. Esto implica que los ordenamientos mencionados anteriormente coinciden casi en la mitad. Dicha similitud tiene detrás la lógica que los países que desarrollan satélites más pesados tienden a alcanzar mayor autonomía (medido por el escalón alcanzado por la STL) y, en consecuencia, realizar actividades espaciales de mayor complejidad. Un ejemplo de esto es Argentina, en donde el peso promedio de sus satélites es de aproximadamente 1931 Kg. y fabricó satélites geoestacionarios (ARSAT-1 y ARSAT-2) encontrándose en las primeras posiciones en los ordenamientos por peso promedio de los satélites y de máximo escalón alcanzado en la STL. Adicionalmente se observan similitudes entre los ordenamientos que corresponden a la cantidad de escalones alcanzados y el escalón más alto alcanzado en la STL; el peso promedio y la cantidad de escalones; la cantidad de satélites LEO L. y C. con la cantidad de escalones y el escalón más alto alcanzado en la STL.

Por otra parte, si se compara el ordenamiento en base a la cantidad de instrumentos promedio con el resto de los ordenamientos, se puede observar que el ordenamiento mencionado en primer lugar coincide en menos de un 35% con el resto de los ordenamientos. Y, además el ordenamiento en base a la cantidad de instrumentos promedio se asemeja con el ordenamiento en base al escalón más alto alcanzado en la STL en aproximadamente un 9% (semejanza más baja de todas). Esta escasa similitud entre los ordenamientos puede atribuirse a que un país puede alcanzar un escalón más alto en la STL por alcanzar un determinado hito (e.g. desarrollo local de un satélite

LEO) pero la complejidad que reviste ese hito en otras métricas es escasa, por ejemplo, tiene pocos instrumentos. Estos satélites al ser tan pequeños suelen cargar uno o dos instrumentos, lo que provoca que el país que desarrolló el satélite poca complejidad tecnológica en sus actividades espaciales, pero según la STL, su complejidad es mayor a la de un país que no desarrollo un satélite. Un país que sirve para ejemplificar esto es Vietnam, que alcanzó el escalón ocho (de un total de trece) en la STL al desarrollar el satélite de órbita baja *PicoDragon*, sin embargo, este satélite sólo cuenta con un solo instrumento, una cámara de baja resolución para tomar fotos de la tierra.

Por último, los satélites más pesados usualmente suelen tener un mayor tamaño y contener más instrumentos que otro más liviano. Por lo tanto, es un resultado razonable que exista similitud entre los ordenamientos en relación con el peso promedio y la cantidad de instrumentos promedio. Dicha similitud entre ordenamientos es cercana al 23% según el coeficiente de Kendall. En esta línea, que un país tenga una mayor cantidad de satélites implica, en la mayoría de los casos, que también sea mayor el número de instrumentos promedio. Es por esto por lo que los ordenamientos en base a la cantidad de satélites LEO L. y C. que tienen los países en desarrollo espacial, y en base a la cantidad de instrumentos promedio de estos satélites coincidan en aproximadamente un 45%.

Respondiendo la primera pregunta de investigación en base a lo expuesto en este apartado, se puede concluir que los ordenamientos entre las diferentes métricas utilizadas habitualmente en la literatura, utilizadas para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países guardan una similitud considerable. Esto queda demostrado ya que aproximadamente un 60% de las comparaciones realizadas mediante los coeficientes de Kendall Tau-b, muestran similitudes mayores o iguales al 40% entre los diferentes ordenamientos. Adicionalmente, si bien en distintos grados los ordenamientos guardan similitudes entre sí. Sin embargo, todos estos ordenamientos poseen limitaciones que sesgan la medición de complejidad tecnológica ya que solo observan una variable como aproximación a la complejidad tecnológica de las actividades espaciales. Pero, como todos los ordenamientos son relevantes en términos de complejidad, una combinación de ellos podría aportar un ordenamiento más completo, ya que se tendrían en cuenta varias variables.

## **5.2 Ordenamientos considerando múltiples variables**

Entendiendo que la complejidad tecnológica de las actividades espaciales depende de varias variables, se plantea resumir la información de las variables consideradas como aproximación de la complejidad tecnológica en métricas individuales. De esta forma se consideran varias dimensiones de complejidad, y se obtendrán métricas más completas que las utilizadas usualmente en la literatura para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales. En base a esto se plantean dos ordenamientos de los países en desarrollo espacial: (i) según la cantidad de variables que tengan un valor mayor a la media de cada una de estas y; (ii) mediante la confección de un indicador sintético creado a partir de resumir la información mediante componentes principales.

### **5.2.1 Ordenamientos a partir de la media de las variables**

En primer lugar, se construyen indicadores binarios que toman el valor uno cuando la variable se encuentra por encima de su media y valor cero en caso contrario. Contabilizando cuántos de estos indicadores toman el valor uno y generando un ordenamiento en base a esto, se clasifican a los países en desarrollo espacial según la complejidad tecnológica de sus actividades. Es así como cuantos más indicadores con valor uno tenga un país, mayor complejidad revestirán sus actividades espaciales y viceversa. Es entonces que, este ordenamiento considera de manera simultánea varias variables, por lo que sería más completo que los ordenamientos presentados en el apartado anterior.

En base a dicha contabilización se puede observar que el ordenamiento lo encabezan Argentina, Brasil y Canadá (un 8% de los países en desarrollo espacial), países para los cuales todas las variables utilizadas en este estudio se sitúan por encima de la media. Por lo tanto, son los países que presentan mayor complejidad tecnológica en sus actividades espaciales. Esta mayor complejidad puede explicarse porque Brasil y Argentina tienen una alta cantidad de satélites LEO L. y C., y Canadá tiene los satélites más pesados, en promedio, dentro de los países en desarrollo espacial. Por otra parte, otro 8% de estos países tienen cuatro variables en las que su valor se encuentra por encima de la media. Si bien la complejidad tecnológica de estos países no sería igual a aquellos que se encuentran en la parte superior del ordenamiento, presentan una complejidad tecnológica de sus actividades espaciales avanzada. Aproximadamente un 15% de los países en desarrollo espacial presentan tres variables en las que su valor es mayor a la media, es por esto por



lo que se puede considerar que la complejidad de las actividades espaciales realizadas por estos países tiene un nivel moderado.

Por otra parte, un 50% de los países en desarrollo espacial tienen una o dos variables por encima de la media (29% con dos variables sobre la media y, 31% con una variable por encima de la media). A partir de esto se puede observar que estos países poseen una baja complejidad tecnológica en sus actividades espaciales. Por último, el 18% de los países que se ubican en la parte baja del ordenamiento, no tienen variables por encima de la media. Por lo que se puede considerar que la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de estos países es muy baja (Tabla 4).

**Tabla 4. Cantidad de variables con valor por encima de su media por país**

<b>País</b>	<b>Cantidad de variables por encima de la media</b>
<b>ARG; BRA; CAN</b>	<b>5</b>
<b>SAU; EGY; KOR</b>	<b>4</b>
<b>ISR; IDN; THA; TUR VEN</b>	<b>3</b>
<b>CHI; ZAF; IRN; KAZ; NGA; VNM; PHL; SGP; DZA; ARE</b>	<b>2</b>
<b>ECU; PER; URY; MEX; BGR; MYS; PKR</b>	<b>1</b>
<b>PRY; COL; CRI; GTM; IRQ; MAR</b>	<b>0</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

Comparando este ordenamiento, considerando distintas variables, con las presentadas en el apartado anterior, se puede observar que aquellos países que cuentan con cuatro y cinco variables por encima de la media suelen ubicarse en el primer quintil de todos los ordenamientos con una variable presentados anteriormente. El único país que es la excepción a esto es Arabia Saudita, ya que solo está en el primer quintil del ordenamiento en base a la cantidad de satélites LEO L. y C. Sin embargo, este país se ubica en el segundo quintil en los demás ordenamientos demostrando que es un país con un nivel considerable en la complejidad tecnológica de sus actividades espaciales.

Por otra parte, los países que tienen de dos a tres variables por encima de la media suelen ubicarse entre el segundo y cuarto quintil en los ordenamientos en los cuales se consideran una variable. Si bien, la ubicación de los países varía entre los ordenamientos de una variable, siempre se mantienen entre los quintiles dos y cuatro. Demostrando que según la variable que se tenga en cuenta para generar ordenamientos, los países dentro de este grupo pueden tener niveles moderados o bajos de complejidad tecnológica en sus actividades espaciales.

Por último, aquellos países que no tienen ninguna variable por encima de la media y que se encuentran en la parte más baja del ordenamiento con varias variables, también se ubican en lo más bajo de los ordenamientos que consideran solo una variable, teniendo así una baja complejidad en sus actividades espaciales. La única excepción a esto es Irak, ya que en los ordenamientos por peso promedio de los satélites y cantidad de instrumentos promedio se ubica en el segundo quintil. Sin embargo, este país se ubica en la parte baja del segundo quintil en estos ordenamientos, por lo que también se puede considerar que es un país con baja complejidad tecnológica.

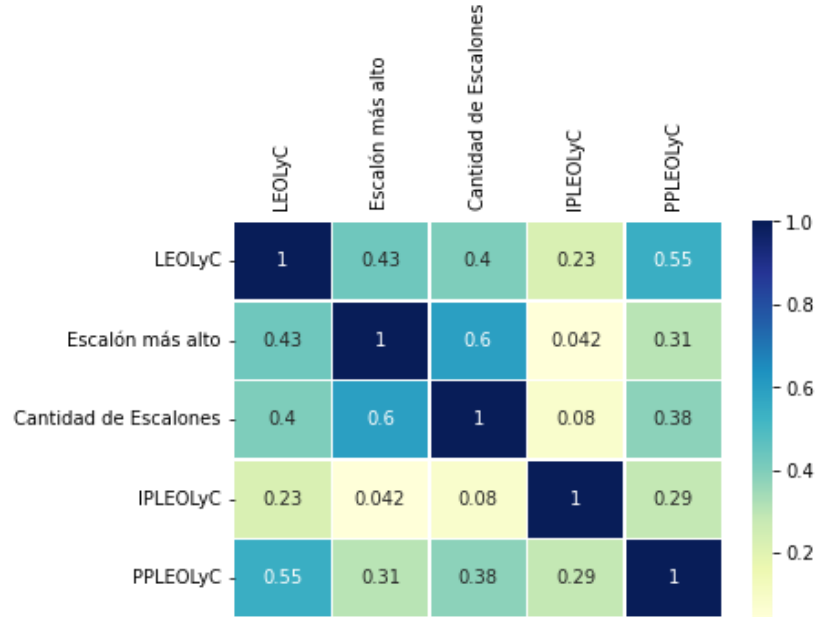
En conclusión, el ordenamiento generado a partir de la cantidad de variables que tienen los países en desarrollo espacial por encima de la media resume la información de los ordenamientos que consideran una sola variable. Además, este ordenamiento es similar a los expuestos en el apartado anterior, mostrando un grupo de países que casi siempre lideran el ordenamiento, un segundo grupo que oscila entre el tercer y cuarto quintil. Y, por último, un grupo de países que siempre está en la parte baja de los ordenamientos. Si bien los indicadores binarios son una forma para resumir la información de las diferentes variables, este método posee importantes limitaciones, por ejemplo, no considera la magnitud ni variabilidad de las variables. Por lo tanto, el resumen de la información puede considerarse incompleto y esto motiva a utilizar un método que permita agrupar el comportamiento de las variables y solucione las limitaciones que presenta el método de indicadores binarios.

### **5.2.2 Análisis de Componentes principales**

Con el fin de resumir la información de una manera más explicativa que el método anterior, en primer lugar, se observa la correlación entre las diferentes variables consideradas como aproximación de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales. A partir de esto, se puede concluir que, si bien la magnitud de las correlaciones varía, todas las variables presentan una correlación positiva. Mostrándose una mayor correlación entre las variables vinculadas a la cantidad de escalones y el escalón más alto alcanzado; y la cantidad de satélites LEO L. y C. con su peso promedio. Por otra parte, las variables que presentan un menor grado de correlación son la cantidad de escalones alcanzados con el número de instrumentos promedio de los satélites; y el número de instrumentos promedio con el escalón más alto alcanzado por un país (Gráfico 5). A

partir de que las variables presentan una correlación en el mismo sentido se aplica el método de componentes principales para resumir la información de estas variables.

**Gráfico 5. Correlación entre variables de complejidad tecnológica de las actividades espaciales**



Fuente: Elaboración Propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

Al aplicar la técnica de componentes principales, se obtienen cinco componentes que resumen la totalidad de la información aportada por las variables consideradas como proximidad de la complejidad tecnológica. Observando con mayor detenimiento los resultados, los dos primeros componentes logran resumir aproximadamente un 70% de la información aportada por las diferentes variables. La variabilidad explicada por cada uno de estos componentes es del 49% para el primer componente, y del 21% para el segundo componente. Adicionalmente, estos dos componentes son los que mayor poder explicativo poseen, ya que el tercer componente explica casi un 13% de la variabilidad de los datos, el cuarto componente un 9% y por último el quinto componente explica solo un 8% de esta variabilidad (Tabla 5).

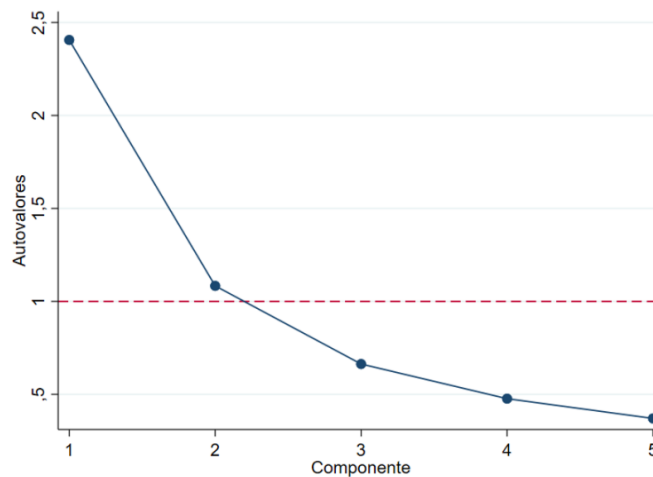
**Tabla 5. Variabilidad explicada por componente**

	Autovalor	Variabilidad explicada por el componente	Variabilidad explicada acumulada
<b>Componente 1</b>	<b>2,45021</b>	<b>0,49</b>	<b>0,49</b>
<b>Componente 2</b>	<b>1,04112</b>	<b>0,2082</b>	<b>0,6983</b>
<b>Componente 3</b>	<b>0,647324</b>	<b>0,1295</b>	<b>0,8277</b>
<b>Componente 4</b>	<b>0,470365</b>	<b>0,0941</b>	<b>0,9218</b>
<b>Componente 5</b>	<b>0,390982</b>	<b>0,0782</b>	<b>1</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

Realizado este análisis, se decide utilizar una combinación de ciertos componentes para construir un indicador sintético. Dicho indicador permite explicar una mayor variabilidad de los datos que si se utiliza sólo un componente. Para la construcción de este indicador se utiliza el criterio de Kaiser (1960). Este criterio establece que la cantidad de componentes necesaria para explicar de forma representativa la variabilidad de los datos se conforma por aquellos componentes cuyos autovalores son mayores a la unidad. Por lo tanto, para este caso de estudio se seleccionan los dos primeros componentes, cuyos autovalores son de 2,45 y de 1,04 respectivamente (Gráfico 6).

**Gráfico 6. Autovalores de los Componentes Principales**



Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

Luego de seleccionar los componentes, se construye el indicador sintético reemplazando los datos obtenidos de aplicar la técnica de componentes principales en la Ecuación (4), obteniendo:

$$IS = \left( \frac{0,49}{0,6983} \right) x CP_1 + \left( \frac{0,2082}{0,6983} \right) x CP_2$$

en esta ecuación los coeficientes del componente uno y dos se multiplican por cada uno de los valores de las respectivas variables, obteniendo un único valor del indicador sintético para cada uno de los países en desarrollo espacial (Ver Anexo de Resultados). Posteriormente se ordenan a los países de desarrollo espacial de acuerdo con la magnitud del indicador, asociando un mayor valor del indicador sintético con un mayor nivel de complejidad tecnológica. Y, por otro lado, un menor valor del indicador sintético se asocia a un menor nivel de complejidad tecnológica (Tabla 6). El indicador sintético construido logra explicar casi el 70% de la variabilidad de los datos.

Analizando el ordenamiento en base al indicador sintético, se puede observar que Argentina encabeza el ordenamiento. Esto se puede deberse a que las variables asociadas a la STL capturan la capacidad de Argentina para construir satélites Geoestacionarios, además que este país es uno de los que mayor cantidad de satélites LEO L. y C. posee, y las características técnicas<sup>18</sup> de estos se encuentran por encima de la media. Inmediatamente por debajo de Argentina se ubica Brasil, país con mayor número de satélites LEO L. y C. entre los países en desarrollo espacial. Además, Brasil se ubica en el primer quintil de los ordenamientos según cantidad de instrumentos promedio y peso promedio de los satélites, así como también en base a la cantidad de escalones alcanzados y el escalón más alto alcanzado en la STL. Canadá e Israel son los países que siguen en el ordenamiento, coincidiendo con su ubicación dentro del primer quintil de los ordenamientos expuestos en el apartado anterior. Es importante destacar que, si bien Israel posee capacidad propia de lanzamiento de satélites de órbita baja, con su serie de lanzadores denominados *Shavit*, la cantidad de satélites LEO L. y C. y su complejidad técnica está por debajo de los construidos por Brasil y Canadá. Por lo tanto, es razonable que, al resumir la información de todas las variables de proximidad tecnológica, se ubiquen en el ordenamiento debajo de estos países.

Por otra parte, en la parte inferior del ordenamiento generado por el indicador sintético, se encuentran aquellos países que ubican las últimas posiciones en los ordenamientos presentados es la subsección anterior.<sup>19</sup> Estos países son los que presentan menor complejidad tecnológica en sus actividades espaciales. Finalmente, en el centro del ordenamiento, se pueden observar los mismos países que están en el mismo rango de posiciones que en los ordenamientos generados a partir de una variable, y del ordenamiento generado a partir del indicador de medias.

**Tabla 6. Ordenamiento Según Indicador Sintético**

Posición	País	Indicador	Posición	País	Indicador	Posición	País	Indicador	Posición	País	Indicador
1°	ARG	2,89	10°	IRN	0,48	19°	DZA	-0,34	28°	URY	-0,86
2°	BRA	2,48	11°	EGY	0,46	20°	ARE	-0,35	29°	PRY	-1,25
3°	CAN	2,16	12°	ZAF	0,11	21°	VNM	-0,54	30°	COL	-1,28
4°	ISR	1,65	13°	PKR	0,01	22°	ECU	-0,58	31°	MAR	-1,32
5°	KOR	1,53	14°	THA	-0,12	23°	MEX	-0,61	32°	IRQ	-1,40
6°	IDN	1,50	15°	PHL	-0,17	24°	NGA	-0,61	33°	CRI	-1,46
7°	SAU	0,83	16°	CHI	-0,19	25°	BGR	-0,62	34°	GTM	-1,70
8°	TUR	0,71	17°	SGP	-0,27	26°	KAZ	-0,66			
9°	VEN	0,57	18°	PER	-0,32	27°	MYS	-0,73			

<sup>18</sup> Es decir, en número de instrumentos promedio y el peso promedio de los satélites LEO L. y C.

<sup>19</sup> Uruguay, Paraguay, Colombia, Marruecos, Iraq, Costa Rica y Guatemala.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

Con el fin de tener una comparación más precisa entre el ordenamiento generado por el indicador sintético, y los ordenamientos generados a partir de las variables de aproximación de complejidad tecnológica por separado, se calculan los coeficientes de Kendall Tau-b. A partir de estos coeficientes se puede observar que, en general el ordenamiento de los países en desarrollo espacial según la complejidad tecnológica de sus actividades espaciales es similar a los ordenamientos generados a partir de las variables por separado. El orden generado a partir del indicador sintético se asimila aproximadamente, en promedio, en un 55% respecto a los demás ordenamientos obtenidos de considerar solo una variable para ordenar a los países en desarrollo espacial. Por lo tanto, el indicador sintético coincide en buena parte con los ordenamientos de los países en desarrollo espacial considerando una sola variable.

Si se observa la similitud del ordenamiento generado en base al indicador sintético respecto a cada uno de los ordenamientos con una sola variable, se puede concluir que este se asemeja en casi un 64% al ordenamiento generado por la cantidad de satélites LEO L. y C., y es con el ordenamiento que más similitud guarda. Por otra parte, el ordenamiento generado a partir del ordenador sintético se asemeja en aproximadamente un 58% al ordenamiento generado a partir del peso promedio de los satélites. Y guarda una similitud de casi el 56% con los ordenamientos generados a partir de la STL.<sup>20</sup> Por último, el ordenamiento resultante del indicador sintético guarda una similitud aproximada del 43% con el ordenamiento que resulta de ordenar a los países en desarrollo espacial de acuerdo con el número de instrumentos promedio de los satélites LEO L. y C (Tabla 7).

**Tabla 7. Coeficientes de Correlación de Kendall Tau-b entre el Indicador Sintético y las variables de aproximación de complejidad tecnológica**

	Cantidad de Satélites LEO L. y C.	Escalón más alto	Cantidad de Escalones	Instrumentos promedio LEO L. y C.	Peso promedio LEO L. y C.	Indicador Sintético
Indicador Sintético	0,6338	0,5603	0,5658	0,4322	0,5812	1

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

Expuestos estos resultados se puede concluir que el ordenamiento de los países en desarrollo espacial generado a partir del indicador sintético, logra capturar y resumir en una

<sup>20</sup> Escalón más alto y Cantidad de escalones alcanzados.

proporción aceptable la información aportada por las diferentes variables de aproximación tecnológica. Si bien, este indicador no genera un ordenamiento que coincida en su totalidad con cada uno de los ordenamientos obtenidos de considerar una sola variable, el ordenamiento con el indicador replica bien los ordenamientos en los quintiles de los países. Es decir, ubica a los países de la parte superior e inferior del ordenamiento, en los mismos quintiles que lo hace cada uno de los ordenamientos con una sola variable. Y, si bien en los quintiles del centro del ordenamiento hay discrepancias con los ordenamientos a una variable en el lugar específico que ocupa cada país, ese ordenamiento coincide bien con los países que ocupan los quintiles del centro de los ordenamientos presentados en la sección anterior.

Por lo tanto, en respuesta a la segunda pregunta de investigación, se puede concluir que el indicador sintético es una buena forma de generar un ordenamiento de los países en desarrollo espacial según la complejidad tecnológica de sus actividades. Aportando una manera más completa de medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales, ya que se consideran en simultáneo diversas variables de complejidad tecnológica, lo que no ocurría en los ordenamientos presentados en la literatura hasta el momento.

Si bien, el ordenamiento generado a partir del indicador sintético resulta más completo a los ordenamientos presentados comúnmente en la literatura, debe tenerse en cuenta que este ordenamiento también posee limitaciones. Una de las limitaciones más importante es que no considera actividades espaciales de frontera, las cuales revisten un elevado grado de complejidad tecnológica. Esto se debe a que este tipo de actividades son desarrolladas por un escaso grupo de países y, por lo tanto, la información no es transversal a todos los países que desarrollan actividades espaciales. Sin embargo, hay países en desarrollo espacial que realizan algunas actividades, y el relevamiento de información acerca de estas podría aportar criterios adicionales para ordenar a los países en desarrollo espacial según la complejidad tecnológica de sus actividades espaciales.

### **5.3 Nuevas Tendencias de las Actividades Espaciales**

Con el incremento de la actividad espacial de los países en los últimos años, surgieron nuevas actividades espaciales que revisten un alto grado de complejidad tecnológica (e.g. constelaciones de satélites, misiones tripuladas, entre otras). Estas actividades no son consideradas en las métricas de complejidad tecnológica utilizadas por la literatura que se han desarrollado en

las subsecciones anteriores. El motivo es que se tratan de actividades nuevas que no pueden ser evaluadas en forma transversal para todos los países, ya que solo unos pocos han generado capacidades para desarrollarlas hasta el momento. De hecho, dentro de los países en desarrollo espacial existen países que desarrollan algunas de estas actividades, y resulta importante tener en consideración que este tipo de información puede dar cuenta de su complejidad tecnológica, aun cuando escapa, como ya se mencionó, a la información considerada habitualmente por la literatura.

Algunos de los proyectos en los que se encuentran trabajando ciertos países en desarrollo espacial se enmarcan en las siguientes actividades de las nuevas tendencias espaciales:

1. Exploración de Cuerpos Celestes<sup>21</sup>.
2. Servicios para mitigar la contaminación espacial.
3. Desarrollo de Servicios de Lanzamiento Comercial.
4. Desarrollo de Constelaciones de Satélites de Órbita Baja.

### **5.3.1 Exploración de Cuerpos Celestes**

Existen diversos proyectos de los países en desarrollo espacial que tienen como finalidad la exploración de cuerpos celestes, principalmente de Marte, La Luna y Júpiter. Estos proyectos buscan comprender el comportamiento, las características y los recursos que albergan los cuerpos celestes anteriormente mencionados. Dentro de los proyectos con mayor difusión se pueden mencionar el orbitador *Hope* desarrollado por los Emiratos Árabes Unidos con el fin de explorar Marte; y los proyectos Juice (exploración de Júpiter) y el proyecto Génesis (exploración Lunar) desarrollados por Israel.

En 2014, los Emiratos Árabes Unidos comenzaron la *Emirates Mars Mission*<sup>22</sup> con el objetivo de estudiar las características de la composición y comportamiento atmosférico del planeta marciano, principalmente la pérdida de hidrógeno y oxígeno que se produce desde la atmósfera hacia el espacio, y el clima del planeta marciano (Almatroushi et al., 2021). Para cumplir ese objetivo se desarrolló el orbitador *Hope* el cual se lanzó en julio de 2020 desde Japón, y comenzó a orbitar Marte y relevar información desde febrero de 2021 (Amiri et al., 2022). Se estima que este orbitador tendrá una vida útil de aproximadamente dos años.

---

<sup>21</sup> Se puede entender como cuerpo celeste, a todo objeto natural que forma parte del universo (Jardetzky, 2013).

<sup>22</sup> Esta es la primera misión que envía de manera interplanetaria una nave espacial fabricada por los Emiratos Árabes Unidos.



Israel es otro de los países en desarrollo espacial que se encuentra realizando misiones para explorar cuerpos celestes. A partir de un premio<sup>23</sup> de USD 20 millones otorgado por Google, para entidades no gubernamentales, la empresa israelí SpaceIL en asociación con la Agencia Espacial Israelí comenzó en 2007 a desarrollar el programa de exploración lunar Génesis. Este programa, al momento de escribir esta tesis, cuenta con dos etapas Génesis 1 y 2. Como parte del programa Génesis 1 se desarrolló la nave espacial “Beresheet” con el fin de realizar experimentos científicos en la luna. Esta nave fue lanzada en febrero de 2019 y llegó a la órbita lunar en abril de ese año, para luego intentar un aterrizaje en la luna, el cual no tuvo éxito (ISA, 2019). Luego de este acontecimiento, la agencia espacial israelí y la empresa SpaceIL anunciaron el lanzamiento de la segunda etapa del proyecto Génesis, otorgando USD 100 millones para el desarrollo de otra nave espacial que logre aterrizar en la superficie lunar. Se estima que esta nave espacial será lanzada al espacio en el primer semestre de 2024 (ISA, 2020).

Turquía es otro de los países en desarrollo espacial que tiene como objetivo la exploración Lunar. En su programa espacial nacional (2021) se detalla la construcción de un cohete que posea la capacidad de llegar sin carga a la órbita lunar, para posteriormente, mejorar la tecnología y lanzar cohetes con carga hacia la luna (e.g. orbitadores) y poder explorarla. El primero de estos cohetes se lanzaría en el transcurso de 2023 y el segundo en 2028.

### **5.3.2 Servicios para mitigar la contaminación espacial**

Desde el lanzamiento del primer satélite (Sputnik-1) en 1957 por parte Unión Soviética, varios países incursionaron en la puesta en órbita de objetos espaciales (sondas, cohetes, satélites, etc.). Este incremento en los lanzamientos de objetos espaciales en parte se debe a los beneficios que trae asociado el desarrollo de actividades espaciales, según datos de la ESA (2021) los objetos espaciales<sup>24</sup> en LEO aumentaron en aproximadamente un 67% para el período 2010-2021. Sin embargo, estas actividades también generan problemas de mediano/largo plazo, uno de estos problemas es la contaminación espacial.

Gran parte de los objetos enviados al espacio quedan en las órbitas luego de finalizar su vida útil (o tarea en caso de los cohetes) o de sufrir averías accidentales. Cuando esto sucede los

---

<sup>23</sup> Google Lunar X.

<sup>24</sup> Con un tamaño mayor a 5 cm.

objetos espaciales se convierten en basura espacial, esto incrementa la posibilidad de colisión entre los nuevos satélites lanzados o puestos en órbita con la basura espacial, generando averías en los objetos espaciales activos. Bajo este panorama, aparecieron nuevas actividades espaciales como la remoción de residuos espaciales y los servicios *in-orbit* que buscan extender la vida útil de los objetos espaciales mediante métodos como la recarga de combustible.

Dentro de los países en desarrollo espacial existen empresas y agencias que se dedican a prestar servicios de recolección de residuos espaciales y servicios *in-orbit*. Por ejemplo, la empresa canadiense *Obrupta Space Solutions* brinda servicios de extensión de vida de objetos espaciales (e.g. reabastecimiento de combustible). Además, esta empresa brinda servicios de remoción de basura espacial. Para ello desarrolló una carga útil que se acopla a los objetos espaciales obsoletos y los redirecciona, con el fin de evitar colisiones con objetos activos.<sup>25</sup> Otro país que se encuentra desarrollando proyectos para brindar servicios *in-orbit* y de remoción de basura espacial es Argentina. La empresa argentina *Epic Aerospace* se encuentra desarrollando dos tipos de remolcadores espaciales para cambiar el curso de objetos espaciales. Uno de estos remolcadores tendrá un peso en seco de 100 Kg. y con combustible (peso húmedo) de 250 Kg. y servirá para remolcar satélites en LEO. Por otro lado, el segundo de los remolcadores tendrá un peso de 10Kg. en seco y servirá para remolcar satélites más pesados desde GEO a GTO. Los primeros remolcadores de esta empresa se lanzarán acoplados a los objetos que deberán mover en un futuro, pero se planea que los remolcadores desarrollados posteriormente puedan acoplarse a objetos que ya se encuentren en el espacio y redireccionarlos. Se estima que el remolcador LEO se tendrá su vuelo inaugural antes que el remolcador GEO-GTO, y que este vuelo sería en 2023.

### **5.3.3 Desarrollo de Servicios de Lanzamiento Comercial**

Si bien dentro de los países en desarrollo espacial algunos de estos poseen capacidades de lanzar satélites, como por ejemplo Israel, Corea del Sur, entre otros, estas capacidades fueron utilizadas para poner en órbita satélites propios. Los servicios de lanzamiento comercial implican una complejidad tecnológica mayor a lanzar un satélite propio, debido a que se tiene que garantizar

---

<sup>25</sup> Ver: <https://www.obruta.com/about>

una baja probabilidad de fallas en los lanzamientos y, por ende, el país que realiza el lanzamiento cuenta con una mayor responsabilidad al lanzar los satélites de otros.

Dentro de los países en desarrollo espacial, en Argentina se están desarrollando proyectos para el lanzamiento de satélites pequeños. Entre estos proyectos se puede destacar el de la empresa TLON Space, una PyME fundada en 2005 la cual busca ofrecer servicios de lanzamiento de nanosatélites de órbita baja, más específicamente, a una altitud entre los 500 Km y 800 Km. Para cumplir este objetivo, la empresa se encuentra desarrollando un lanzador de dos etapas, el cual lleva el nombre de Aventura I. Este lanzador posee la característica de que su primera etapa sea reutilizable. Al momento de escribir el presente trabajo, Aventura I se encuentra en fase de prueba, habiendo logrado en enero de 2021 su cuarto vuelo de testeo exitoso, el cual alcanzó una altura de 2 Km, y en junio del mismo año transportó un satélite de la empresa argentina Innova Space, con el fin de testear la funcionalidad de los sistemas de navegación, guía y control del lanzador. Una vez concluidas las pruebas, Aventura I será uno de los lanzadores más ligeros de la industria, con un peso húmedo de 850 Kg, una altura de 10 m, y la capacidad de transportar hasta 25 Kg. De carga.

Otra empresa argentina que pretende brindar servicios comerciales de lanzamiento de pequeños satélites es LIA Aerospace. Esta empresa se encuentra desarrollando una serie de dos lanzadores de prueba denominados Zonda 1.0 y Zonda 2.0 los cuales permitirían acumular el *know how* necesario para desarrollar el lanzador Procyon, el cual brindaría los servicios comerciales de lanzamiento en 2024. A la fecha de redacción del presente trabajo, se realizó la prueba del Zonda 1.0 el cual alcanzó una altura de 3 km. Y se espera que el Zonda 2.0 alcance una altura entre los 50 km y 60 km. Se estima que la empresa fijará una tarifa de USD 25.000 por kilogramo de carga a lanzar.

También dentro de los países en desarrollo espacial Canadá se encuentra desarrollando proyectos para brindar servicios de lanzamiento comercial. La empresa privada Maritime Launch con sede en la provincia canadiense de nueva escocia, se asoció con el fabricante de cohetes ucraniano Yuzhnoye & Yuzhmash, el cual le proveyó un cohete llamado Cyclone-4M. Este cohete tiene la capacidad de colocar una carga de hasta 5.000 kg en la órbita baja terrestre, y sus prototipos anteriores han sido testeados y actualmente brindan servicios comerciales de lanzamiento.<sup>26</sup> Por

---

<sup>26</sup> Ver: <https://www.maritimelaunch.com/vehicles>

otra parte, Maritime Launch se encuentra construyendo el puerto espacial del que se realizarán los lanzamientos. La empresa estima que los primeros lanzamientos se realizarán antes de finalizar el 2022. Si bien la empresa canadiense optó por una solución “llave en mano” para obtener el cohete que le permitirá lanzar los satélites, la construcción del puerto espacial que brindará el espacio físico y el soporte técnico para realizar los lanzamientos, se podría considerar una actividad de elevado nivel de complejidad tecnológica, y necesaria para poder brindar servicios comerciales de lanzamiento.

Por último, otro de los países en desarrollo espacial que planea brindar servicios de lanzamiento comerciales es Israel. Si bien este país realizó diecinueve lanzamientos de satélites de órbita baja propios, como por ejemplo los de la serie Ofeq, con su serie de lanzadores Shavit, al momento de escribir este trabajo, el país no registra lanzamientos comerciales. Sin embargo, en base a estas experiencias y a su capacidad de lanzamiento, actualmente Israel comenzó a ofrecer sus servicios de lanzamiento de manera comercial, a través de su empresa estatal Israel Aerospace Industries.<sup>27</sup>

#### **5.3.4 Desarrollo de Constelaciones de Satélites de Órbita Baja**

Otra de las actividades espaciales de frontera es la construcción de constelaciones de satélite. Wood (2003) define a una constelación de satélites como un número de satélites de características técnicas (e.g. peso, cantidad de instrumentos) y funciones similares, los cuales se encuentran en una misma órbita o en órbitas complementarias con el fin de cumplir una misma función. Además, los satélites que conforman la constelación son controlados de manera simultánea. Las constelaciones de satélites, generalmente, suelen ser de órbita baja y brindan servicios de internet de banda ancha, observación de la tierra, entre otros. Además, su costo de producción y de lanzamiento son menores a los de los satélites Geoestacionarios, los cuales orbitan más lejos de la tierra (Leyva-Mayorga et al., 2020; Singh et al., 2020).

Esta actividad espacial se considera de frontera ya que los satélites que conforman las constelaciones son pequeños, deben comunicarse entre sí y orbitar a la tierra de manera sincronizada, para brindar un determinado servicio. Es por esto que la construcción de

---

<sup>27</sup> Ver: <https://www.iai.co.il/commercial/general-applications/technologies-commercialization>

constelaciones de satélites presenta elevado nivel de complejidad tecnológica (Lang & Adams, 1998).

Dentro de los países en desarrollo espacial la Argentina y los Emiratos Árabes Unidos se encuentran desarrollando proyectos de constelaciones de satélites de órbita baja. Por el lado de argentina los desarrollos vinculados a constelaciones de satélites son llevadas adelante por empresas privadas. Tal es el caso de Satellogic, empresa que desarrolló la primera constelación de satélites de observación de Latinoamérica. Los primeros dos satélites diseñados por esta empresa fueron dos nanosatélites<sup>28</sup> apodados “Capitán Beto” y “Manolito”. El primero de estos satélites fue lanzado en 2013 en China, y fue el primer nanosatélite operativo desarrollado y producido en Argentina. El segundo de estos satélites también fue lanzado en 2013, pero en este caso, desde Rusia. Al momento de escribir este trabajo, Satellogic cuenta con una constelación operativa, llamada Aleph-1. Esta constelación cuenta con 17 satélites, de los cuales los cuatros últimos fueron lanzados por la empresa estadounidense Space X, y brindan servicios comerciales de imágenes. A principios del 2021 la empresa argentina firmó un acuerdo de lanzamientos con Space X, el cual le permitirá incrementar el tamaño de su constelación a 300 satélites para el año 2025.

Otra empresa argentina que se tiene el proyecto de desarrollar una constelación de satélites de órbita baja para prestar servicios de *Internet of Things*<sup>29</sup> (IoT) es Innova Space. Esta empresa marplatense fue fundada en 2019 posee un solo picosatélite llamado MDQube-Sat 1, el cual se encuentra en fase de prueba a la fecha de la confección de este trabajo. Esta empresa ganó varios concursos y recibió financiamiento de entes gubernamentales, como por ejemplo del Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. El satélite MDQube-Sat 1 tendrá dimensiones de 10 cm x 5 cm x 5 cm y pesará aproximadamente 500g. La constelación de satélites de esta empresa será puesta en órbita entre 2024 y 2025 y posibilitará la transmisión y recolección de datos desde dispositivos en zonas remotas en donde se realicen actividades como la pesca, minería o explotación agrícola.

---

<sup>28</sup> Pequeños satélites con estructuras en forma de cubos de 10 cm de lado y peso inferior a 1,33 Kg.

<sup>29</sup> Se puede definir la *Internet of Things* como la interconexión digital de dispositivos, objetos físicos y virtuales a través de una red mediante la cual estos se podrían identificar e interactuar. Los dispositivos vinculados a la IoT pueden ser tan variados como sensores, prendas de vestir, e incluso programas de aprendizaje automático (Haller et al., 2009).

Emiratos Árabes Unidos es otro de los países en desarrollo espacial que planea incursionar en la creación de constelaciones de satélites de órbita baja. En julio del 2022 el gobierno emiratí destinó fondos por 3 mil millones de dólares para el desarrollo de una constelación de satélites de observación de la tierra. Dicho desarrollo se espera que sea una colaboración entre el sector público, empresas privadas de los Emiratos Árabes Unidos y de organismos internacionales.<sup>30</sup> Los satélites de esta constelación llevarán el nombre Sirb y serán lanzados en un lapso de seis años, en donde se completará la constelación. Si bien no hay fuentes oficiales que precisen cuántos satélites tendrá la constelación, se estima que el lanzamiento del primer satélite de esta sería en 2025.<sup>31</sup>

Todas las actividades mencionadas en los subapartados anteriores son actividades espaciales consideradas de frontera de alta complejidad tecnológica, debido a que para desarrollar estas actividades se necesita tener un grado elevado de conocimientos técnicos y capacidades tecnológicas. Un claro ejemplo de esto es construir y poner en funcionamiento una constelación de satélites *vis a vis* construir un satélite de órbita baja, ya que reviste mayor complejidad tecnológica construir varios satélites pequeños que deben funcionar de manera coordinada a construir un solo satélite. Otro ejemplo es la construcción de satélites o sondas para la exploración de otros planetas (e.g. Marte) que requieren una estructura más compleja que los satélites convencionales ya que se deben ubicar más lejos de la Tierra y transmitir señales e imágenes a esta.

Al considerarse estas actividades para lograr un ordenamiento en los países en desarrollo espacial según su grado de complejidad tecnológica, Argentina, Israel, Canadá y los Emiratos Árabes Unidos serían los países que poseen mayor complejidad tecnológica en sus actividades espaciales, respecto a los demás países en desarrollo espacial. Sin embargo, estos 4 países no realizan las mismas actividades de frontera, por lo que, a grandes rasgos, se desconoce cuál de estos realiza actividades espaciales más complejas.

En resumen, y respondiendo la tercera pregunta de investigación, las actividades espaciales de frontera aportan, en líneas generales, criterios adicionales que permitirían mejorar los ordenamientos presentados en las dos secciones anteriores de este trabajo en base a una medición más completa de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales. Sin embargo, no se

---

<sup>30</sup> Ver: <https://u.ae/en/about-the-uae/science-and-technology/key-sectors-in-science-and-technology/space-science-and-technology>

<sup>31</sup> Para más información ver: <https://wam.ae/en/details/1395303066705>

puede tener una forma homogénea de medir la complejidad tecnológica de estas actividades, y no todos los países en desarrollo espacial realizan actividades de frontera. Es por eso que, si bien relevar estas actividades de frontera aporta criterios adicionales que permiten determinar qué países en desarrollo espacial realizan actividades más complejas que otros, no se puede generar indicadores u ordenamientos que engloben a todos los países en desarrollo espacial, ya que no hay información transversal para todos estos países.

## **6. Conclusiones/reflexiones finales**

La medición de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales desarrolladas por los países presenta ciertas dificultades. Por un lado, la inexistencia de una base que compile y sistematice las variables utilizadas habitualmente en la literatura (e.g. cantidad de satélites, peso promedio de los satélites, etc.) para indicar el grado de complejidad tecnológica de estas actividades. Por el otro, la variación que se produce en cada medición de complejidad tecnológica dependiendo la variable que se considere para realizar tal tarea. Estas variables pueden generar ordenamientos de los países en desarrollo espacial que pueden no coincidir de manera exacta entre sí. Adicionalmente, existen otras variables que se pueden considerar como aproximación de complejidad de tecnológica de las actividades espaciales que no son consideradas habitualmente en la literatura. Estas variables son las vinculadas al desarrollo de actividades espaciales de frontera, que pueden indicar un mayor nivel de complejidad tecnológica pero no pueden ser analizadas de manera transversal porque no todos los países desarrollan estas actividades.

En el presente trabajo se propuso realizar una primera aproximación a la medición de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales de los países en desarrollo espacial. Para ello, en primer lugar, se estudiaron los ordenamientos generados por las métricas de complejidad tecnológica de las actividades espaciales utilizadas de manera habitualmente en la literatura. En donde se puede concluir que los ordenamientos de los países en desarrollo espacial son similares, conservando en las primeras y últimas posiciones de los ordenamientos a los mismos países, aunque no lo hacen en una misma posición exacta, sino en los primeros y últimos quintiles. Si bien mediante la utilización de estas métricas se puede observar cierta similitud entre la complejidad tecnológica de los países en desarrollo espacial, las limitaciones de dichas métricas hacen que cada ordenamiento sea incompleto, debido a que se considera una sola variable. Por lo tanto, se decidió plantear métricas alternativas que capten en número mayor de variables.

La confección de métricas que consideran múltiples variables de complejidad tecnológica de manera simultánea, resultan ser una buena opción para solucionar las limitaciones de las métricas utilizadas habitualmente en la literatura para medir la complejidad tecnológica de los países en desarrollo espacial. Sin embargo, estas métricas también presentan limitaciones, como por ejemplo que no logran captar actividades de frontera (e.g. exploración de cuerpos celestes, servicios para mitigar la contaminación espacial, etc.), las cuales son las más complejas desde el punto de vista tecnológico. Es por esto que el relevamiento de las actividades de frontera que desarrollan los países en desarrollo espacial resulta un aporte relevante para comprender el nivel de complejidad tecnológica de las actividades espaciales que desarrollan los países. No obstante, la observación de las actividades espaciales de frontera son un complemento y no una herramienta superadora a las métricas expuestas anteriormente, debido a que no todos los países en desarrollo espacial llevan a cabo este tipo de actividades, y por lo tanto, la información no es transversal.

En resumen, la medición de la complejidad tecnológica de las actividades espaciales, llevadas a cabo por los países en desarrollo espacial es una tarea compleja. Esta complejidad depende de múltiples variables, es por lo cual el uso de indicadores que sintetizan la información aportada por cada variable es una buena opción para medir de una manera más efectiva dicha complejidad. Además, la consideración de las actividades de frontera que llevan a cabo los países en desarrollo espacial funciona como información complementaria a los indicadores sintéticos, así como también, a las métricas que solo consideran una variable para medir la complejidad tecnológica de las actividades espaciales. Además, es importante tener en cuenta las limitaciones que cada uno de estos métodos posee y que en trabajos posteriores. Cuando exista una mayor transversalidad de datos vinculados a las actividades de frontera, los indicadores sintéticos pueden considerar a estas. Y, por lo tanto, medir de una forma más abarcativa la complejidad tecnológica de las actividades de los países en desarrollo espacial.



## 7. Referencias bibliográficas

- Abdi, H. (2007). The Kendall rank correlation coefficient. *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Sage, Thousand Oaks, CA, 508–510.
- Almatroushi, H., AlMazmi, H., AlMheiri, N., AlShamsi, M., AlTunaiji, E., Badri, K., Lillis, R. J., Lootah, F., Yousuf, M., Amiri, S., Brain, D. A., Chaffin, M., Deighan, J., Edwards, C. S., Forget, F., Smith, M. D., Wolff, M. J., Christensen, P. R., England, S., ... Young, R. M. B. (2021). Emirates Mars Mission Characterization of Mars Atmosphere Dynamics and Processes. *Space Science Reviews*, 217(8), 89. <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00851-6>
- Amiri, H. E. S., Brain, D., Sharaf, O., Withnell, P., McGrath, M., Alloghani, M., Al Awadhi, M., Al Dhafri, S., Al Hamadi, O., Al Matroushi, H., Al Shamsi, Z., Al Shehhi, O., Chaffin, M., Deighan, J., Edwards, C., Ferrington, N., Harter, B., Holsclaw, G., Kelly, M., ... Yousuf, M. (2022). The Emirates Mars Mission. *Space Science Reviews*, 218(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00868-x>
- Arthur, W. B. (2009). Complexity and the economy. In *Handbook of Research on Complexity*. Edward Elgar Publishing.
- Balland, P.-A., & Rigby, D. (2017). The geography of complex knowledge. *Economic Geography*, 93(1), 1–23.
- Bonett, D. G., & Wright, T. A. (2000). Sample size requirements for estimating Pearson, Kendall and Spearman correlations. *Psychometrika*, 65(1), 23–28.
- Broekel, T. (2019). Using structural diversity to measure the complexity of technologies. *PloS One*, 14(5), e0216856.

- Brunner, H.-P. (1991). Building technological capacity: A case study of the computer industry in India, 1975–1987. *World Development*, 19(12), 1737–1751.
- Carrillo, J., & Gomis, R. (2005). Generaciones de maquiladoras: Un primer acercamiento a su medición. *Frontera Norte*, 17(33), 25–51.
- Dahlman, C. J., & Nelson, R. (1995). Social absorption capability, national innovation systems and economic development. In *Social capability and long-term economic growth* (pp. 82–122). Springer.
- ESA. (2021). *ESA'S ANNUAL SPACE ENVIRONMENT REPORT* (pp. 21–25). ESA. [https://www.sdo.esoc.esa.int/environment\\_report/Space\\_Environment\\_Report\\_latest.pdf](https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf)
- Fleming, L., & Sorenson, O. (2001). Technology as a complex adaptive system: Evidence from patent data. *Research Policy*, 30(7), 1019–1039.
- Gallicchio, N. (2017). Radar and Satellite History. *The Evolution of Meteorology: A Look into the Past, Present, and Future of Weather Forecasting*, 43–49.
- García-Muiña, F. E., & Navas-López, J. E. (2007). Explaining and measuring success in new business: The effect of technological capabilities on firm results. *Technovation*, 27(1–2), 30–46.
- Haller, S., Karnouskos, S., & Schroth, C. (2009). The Internet of Things in an Enterprise Context. In J. Domingue, D. Fensel, & P. Traverso (Eds.), *Future Internet – FIS 2008* (Vol. 5468, pp. 14–28). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-00985-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-00985-3_2)
- Hargadon, A. (2003). *How breakthroughs happen: The surprising truth about how companies innovate*. Harvard Business Press.
- Heijs, J., & Buesa, M. (2016). Manual de economía de innovación. *Madrid: Instituto de Análisis Industrial y Financiero Universidad Complutense de Madrid*.

- ISA. (2019). *SpaceIL - Aterriza una nave espacial no tripulada en la Luna*.  
<https://www.space.gov.il/research-and-development/1302>
- ISA. (2020). *Israel regresa a la Luna: Génesis 2 está en marcha*.  
<https://www.space.gov.il/research-and-development/1302>
- Jardetzky, W. S. (2013). *Theories of figures of celestial bodies*. Courier Corporation.
- Kaiser, H. F. (1960). The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 141–151.  
<https://doi.org/10.1177/001316446002000116>
- Krishnan, V. (2010). Constructing an area-based socioeconomic index: A principal components analysis approach. *Edmonton, Alberta: Early Child Development Mapping Project*.
- Lall, S. (2000). The Technological structure and performance of developing country manufactured exports, 1985-98. *Oxford Development Studies*, 28(3), 337–369.
- Lall, S., Weiss, J., & Zhang, J. (2006). The “sophistication” of exports: A new trade measure. *World Development*, 34(2), 222–237.
- Lang, T. J., & Adams, W. S. (1998). A Comparison of Satellite Constellations for Continuous Global Coverage. In J. C. Ha (Ed.), *Mission Design & Implementation of Satellite Constellations* (Vol. 1, pp. 51–62). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-5088-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-011-5088-0_5)
- Lapata, M. (2006). Automatic evaluation of information ordering: Kendall’s tau. *Computational Linguistics*, 32(4), 471–484.
- Leyva-Mayorga, I., Soret, B., Röper, M., Wübben, D., Matthiesen, B., Dekorsy, A., & Popovski, P. (2020). LEO small-satellite constellations for 5G and beyond-5G communications. *Ieee Access*, 8, 184955–184964.

- Lopez, A. F., Pascuini, P. D., & Ramos, A. H. (2017). *Al infinito y más allá: Una exploración sobre la economía del espacio en Argentina*.
- López, A., Pascuini, P., & Ramos, A. (2018). Climbing the Space Technology Ladder in the South: The Case of Argentina. *Space Policy*, 46, 53–63.  
<https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2018.06.001>
- Moya, E. D. S. (2014). Desarrollo tecnológico y Brecha tecnológica entre países de América Latina. *Ánfora*, 21(36), 41–65.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., & Tarantola, S. (2005). Tools for composite indicators building. *European Commission, Ispra*, 15(1), 19–20.
- Nelson, R. R. (2008). Economic development from the perspective of evolutionary economic theory. *Oxford Development Studies*, 36(1), 9–21.
- OECD. (2012). *OECD Handbook on Measuring the Space Economy*. OECD.  
<https://doi.org/10.1787/9789264169166-en>
- OECD. (2014). *The Space Economy at a Glance 2014*. OECD Publishing.  
<https://doi.org/10.1787/9789264217294-en>
- Ollivier Fierro, J. (2007). El problema del rezago tecnológico de las microempresas industriales y alternativas de solución. *Contaduría y Administración*, 221, 137–160.
- Singh, L. A., Whittecar, W. R., DiPrinzio, M. D., Herman, J. D., Ferringer, M. P., & Reed, P. M. (2020). Low cost satellite constellations for nearly continuous global coverage. *Nature Communications*, 11(1), 1–7.
- Solís-Santomé, A., & Santos-Reyes, J. (2016). Diagnóstico de la situación actual de los satélites. *Humanidades, Tecnología y Ciencia Del Instituto Politécnico Nacional*, 14, 1–15.

- Szajnfarber, Z., & Weigel, A. L. (2010). Towards an empirical measure of spacecraft innovation: The case of communication satellites. *Acta Astronautica*, 66(7–8), 1266–1279. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.09.025>
- TUA. (2021). *National Space Program*. <https://cdn.tua.gov.tr/60b61f993ada2.pdf>
- Velosa García, J. D., & Sánchez Ayala, L. M. (2012). Análisis de la capacidad tecnológica en Pymes metalmecánicas: Una metodología de evaluación. *Revista Ean*, 72, 128–147.
- Wood, D., & Weigel, A. (2011). Building technological capability within satellite programs in developing countries. *Acta Astronautica*, 69(11–12), 1110–1122. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2011.06.008>
- Wood, D., & Weigel, A. (2012a). A framework for evaluating national space activity. *Acta Astronautica*, 73, 221–236. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2011.11.013>
- Wood, D., & Weigel, A. (2012b). Charting the evolution of satellite programs in developing countries – The Space Technology Ladder. *Space Policy*, 28(1), 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2011.11.001>
- Wood, L. (2003). Satellite constellation networks. In *Internetworking and Computing over Satellite Networks* (pp. 13–34). Springer.
- Yang, G. (2020). Comparative Study on the Technical Complexity of Agricultural Machinery Products Exported by China, Japan and Korea. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 4(3), 33–45.
- Yeomans, K. A., & Golder, P. A. (1982). The Guttman-Kaiser Criterion as a Predictor of the Number of Common Factors. *The Statistician*, 31(3), 221. <https://doi.org/10.2307/2987988>

## 8. Anexos

### 8.1 Anexo de Características Técnicas

Un satélite es un objeto tecnológico que órbita alrededor de la Tierra (Gallicchio, 2017). Estos se utilizan para desarrollar varias actividades, como brindar servicios de telecomunicaciones, de observación de la tierra, servicios meteorológicos, o desarrollar actividades científicas con la finalidad de ampliar el conocimiento que se posee sobre la Tierra y el espacio. En general, los satélites se componen de dos subestructuras: (i) la Carga Útil o *Payload*, que comprende los instrumentos que requiere el satélite para cumplir su misión (Solís-Santomé & Santos-Reyes, 2016) y; (ii) la Plataforma o *Bus* que contiene al *Payload* y además mantiene al satélite en funcionamiento e integrado (Lopez et al., 2017).

Existen diferentes variables o dimensiones que permiten clasificar a los satélites y asociar cierta complejidad tecnológica a estos. El tamaño y el peso de los satélites son aspectos relevantes para su clasificación, ya que cuanto menor sea el tamaño del satélite, suele ser menor la cantidad de instrumentos que pueden llevar y por ende menor será su peso. Esto conlleva a que los satélites más pequeños tengan una menor vida útil debido a que pueden transportar menor cantidad de combustible (OECD, 2014). Es por esto por lo que se suele vincular a los satélites de menor peso y tamaño con menores niveles de complejidad tecnológica. En este sentido, según la clasificación por peso de los satélites (Tabla 1. A. C. T.) se podría asociar a los Grandes Satélites con mayor complejidad tecnológica, y a los Femto satélites con una complejidad tecnológica simple.

**Tabla 1. A. C. T. Clasificación por peso de los satélites**

<b>Tipo de Satélite</b>	<b>Peso</b>
Satélites Grandes	> 1000 Kg.
Satélites Medianos	Entre 500 y 1000 Kg.
Mini Satélites	Entre 100 y 500 Kg.
Microsatélites	Entre 10 y 100 Kg.
Nano Satélites	Entre 1 y 10 Kg.
Pico Satélites	Entre 100 g. y 1 Kg.
Femto Satélites	< 100 g.

Fuente: Elaboración Propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

La distancia de la Tierra a la órbita en la cual se sitúa el satélite, una vez lanzado, es otra de las variables utilizadas para clasificar a los satélites según su complejidad tecnológica. Existen tres órbitas relevantes en las cuales se pueden situar los satélites, la Órbita Terrestre Baja o Low Earth Orbit (LEO) la cual comprende altitudes entre los 250 y 1000 Km, la Órbita Terrestre Media o Medium Earth Orbit (MEO) ubicada entre los 10000 y 30000 Km de altura. Y, la Órbita Terrestre Geoestacionaria o Geoestacionary Earth Orbit (GEO) la que se ubica a 35796 Km de altitud. Entonces, se podría asociar un mayor nivel de complejidad tecnológica a aquellos satélites que se posicionen en órbitas más altas.

## 8.2 Anexo de Fuentes (A.F.)

En el presente anexo se detallan las diferentes fuentes de información consultadas para la confección de la base de datos utilizada en el presente trabajo. Estas fuentes de información son de tres estilos: (i) Sitios web de los fabricantes de satélites (Tabla A.F. 1); (ii) Agencias Espaciales (Tabla A.F. 2) y; (iii) Sitios web especializados y registros oficiales de satélites (Tabla A.F. 3).

**Tabla A.F. 1. Fabricantes de Satélites**

País	Nombre	Web
Argentina	INVAP	<a href="https://www.invap.com.ar/">https://www.invap.com.ar/</a>
Canadá	Spar Aerospace	<a href="http://www.spar.ca">http://www.spar.ca</a>
Estados Unidos	Boeing	<a href="https://www.boeing.com/space/">https://www.boeing.com/space/</a>
Estados Unidos	Lockheed Martin	<a href="https://www.LockheedMartin.com">https://www.LockheedMartin.com</a>
Estados Unidos	Northrop Grumman	<a href="https://www.northropgrumman.com/">https://www.northropgrumman.com/</a>
Francia	Thales Group	<a href="http://www.thalesgroup.com">www.thalesgroup.com</a>
Francia	EADS Astrium	<a href="http://www.astrium.eads.net/">http://www.astrium.eads.net/</a>
Israel	Israel Aerospace Industries	<a href="https://www.iai.co.il/">https://www.iai.co.il/</a>

**Tabla A.F. 2. Sitios web especializados y registros oficiales de satélites**

Nombre	Web
Gunter´s Space Page	<a href="https://space.skyrocket.de/">https://space.skyrocket.de/</a>
International Designator (COSPAR ID)	<a href="https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/SpacecraftQuery.jsp">https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/SpacecraftQuery.jsp</a>
N2YO	<a href="https://www.n2yo.com/">https://www.n2yo.com/</a>
SATBEAMS	<a href="https://www.satbeams.com/">https://www.satbeams.com/</a>

**Tabla A.F. 3. Agencias Espaciales**

País	Nombre	Abreviatura / Sigla	Web
Arabia Saudita	UAE Space Agency	UAE Space Agency	<a href="https://space.gov.ae/">https://space.gov.ae/</a>
Argelia	Algerian Space Agency	ASAL	<a href="http://www.asal.dz">http://www.asal.dz</a>
Argentina	Comisión Nacional de Actividades Espaciales	CONAE	<a href="https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae">https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae</a>
Bolivia	Agencia Boliviana Espacial	ABE	<a href="https://www.abe.bo/">https://www.abe.bo/</a>
Brasil	Agencia Espacial Brasileira	AEB	<a href="https://www.gov.br/aeb/">https://www.gov.br/aeb/</a>
Bulgaria	Bulgarian Space Agency	BASA	<a href="http://www.space.bas.bg/">http://www.space.bas.bg/</a>
Canadá	Canadian Space Agency	CSA	<a href="https://www.asc-csa.gc.ca/eng/">https://www.asc-csa.gc.ca/eng/</a>
Colombia	Agencia Espacial de Colombia	AEC	<a href="https://agenciaespacialdecolombia.org/">https://agenciaespacialdecolombia.org/</a>
Corea del sur	Korea Aerospace Research Institute	KARI	<a href="https://www.kari.re.kr/eng.do">https://www.kari.re.kr/eng.do</a>
Ecuador	Agencia Espacial Civil Ecuatoriana	EXA	<a href="http://exa.ec/">http://exa.ec/</a>
Egipto	Turkish Space Agency	NARSS	<a href="https://www.narss.sci.eg/">https://www.narss.sci.eg/</a>
Emiratos Árabes Unidos (EAU)	UAE Space Agency	UAE Space Agency	<a href="http://www.mbrsc.ae">www.mbrsc.ae</a>
Indonesia	National Institute of Aeronautics and Space of Indonesia	LAPAN	<a href="https://www.lapan.go.id/">https://www.lapan.go.id/</a>
Irán	Iranian Space Agency	ISA	<a href="https://isa.ir/en">https://isa.ir/en</a>
Israel	Israel Space Agency	ISA	<a href="https://www.space.gov.il/">https://www.space.gov.il/</a>
Kazajistán	National Space Agency of the Republic of Kazakhstan	KazCosmos	<a href="https://gharysh.kz/">https://gharysh.kz/</a>
Malasia	Malaysia Space Agency	ANGKASA / MYSA	<a href="https://www.angkasa.gov.my">https://www.angkasa.gov.my</a>
México	Agencia Espacial Mexicana	AEM	<a href="https://www.gob.mx/aem">https://www.gob.mx/aem</a>
Paraguay	Agencia Espacial del Paraguay	AEP	<a href="https://www.aep.gov.py/">https://www.aep.gov.py/</a>
Perú	Agencia Espacial del Perú	CONIDA	<a href="https://www.gob.pe/conida">https://www.gob.pe/conida</a>
Rumania	Romanian Space Agency	ROSA	<a href="https://www.rosa.ro/">https://www.rosa.ro/</a>
Tailandia	Thailand Space Agency	GISTDA	<a href="https://www.gistda.or.th/home.php">https://www.gistda.or.th/home.php</a>
Turquía	Turkish Space Agency	TUA	<a href="https://tua.gov.tr/en">https://tua.gov.tr/en</a>
Venezuela	Agencia Bolivariana Para la Actividad Espacial	ABAE	<a href="http://www.abae.gob.ve/">http://www.abae.gob.ve/</a>



### 8.3 Anexo Metodológico

#### Parte A

En este apartado del anexo metodológico se presenta como quedarían ordenados los países en desarrollo espacial: (i) considerando la cantidad de satélites comprados (Tabla 1 A. M. Parte A.) y; (ii) considerando la cantidad de satélites geostacionarios de fabricación local (Tabla 2 A. M. Parte A.).

**Tabla 1 A. M. Parte A. Países en desarrollo espacial ordenados por la cantidad de satélites comprados**

Posición	País	Cantidad de satélites comprados	Posición	País	Cantidad de satélites comprados	Posición	País	Cantidad de satélites comprados	Posición	País	Cantidad de satélites comprados
1°	BRA	24	10°	GTM	5	19°	IRQ	2	28°	ARG	0
2°	CAN	21	11°	ISR	5	20°	MAR	2	29°	PRY	0
3°	KAZ	17	12°	VNM	4	21°	CHI	1	30°	PER	0
4°	TUR	11	13°	ARE	4	22°	COL	1	31°	VEN	0
5°	THA	10	14°	IDN	3	23°	ECU	1	32°	ZAF	0
6°	PHL	9	15°	IRN	3	24°	URY	1	33°	SAU	0
7°	CRI	7	16°	MYS	3	25°	EGY	1	34°	NGA	0
8°	BGR	7	17°	SGP	3	26°	KOR	1			
9°	PKR	6	18°	MEX	2	27°	DZA	1			

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

**Tabla 2 A. M. Parte A. Países en desarrollo espacial ordenados por la cantidad de satélites geostacionarios fabricados localmente**

Posición	País	Cantidad de satélites GEO locales	Posición	País	Cantidad de satélites GEO locales	Posición	País	Cantidad de satélites GEO locales	Posición	País	Cantidad de satélites GEO locales
1°	ARG	2	10°	BRA	0	19°	IRQ	0	28°	GTM	0
2°	ISR	2	11°	CAN	0	20°	MAR	0	29°	PRY	0
3°	KAZ	0	12°	VNM	0	21°	CHI	0	30°	PER	0
4°	TUR	0	13°	ARE	0	22°	COL	0	31°	VEN	0
5°	THA	0	14°	IDN	0	23°	ECU	0	32°	ZAF	0
6°	PHL	0	15°	IRN	0	24°	URY	0	33°	SAU	0
7°	CRI	0	16°	MYS	0	25°	EGY	0	34°	NGA	0
8°	BGR	0	17°	SGP	0	26°	KOR	0			
9°	PKR	0	18°	MEX	0	27°	DZA	0			

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

## Parte B

Componentes principales es un método estadístico que posibilita resumir espacios muestrales que contienen varias variables conservando la información. Suponiendo la existencia de una muestra con  $n$  individuos y  $p$  variables  $(X_1, \dots, X_p)$ , el método de componentes principales permite hallar un número de variables  $C$ , tal que  $C$  sea menor a  $p$ , que expliquen aproximadamente lo mismo que las  $p$  variables. Cada variable  $C_j$  es denominada componente principal. Cada uno de estos componentes es la combinación lineal de las variables originales tal que:

$$C_j = v_{1j}X_1 + v_{2j}X_2 + \dots + v_{pj}X_p \quad \text{con } j = 1, 2, \dots, p$$

estas combinaciones lineales son elegidas tal que las  $C_p$  variables sean ortogonales. Por lo tanto, la matriz de varianzas y covarianzas de los componentes principales queda determinada por:

$$\begin{matrix} & C_1 & \dots & C_p \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_p \end{matrix} & \begin{pmatrix} \mu_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \mu_p \end{pmatrix} \end{matrix}$$

En esta matriz se puede observar que todos los elementos fuera de la diagonal principal son iguales a cero, debido a que los componentes principales son ortogonales. Y  $\mu_j$  representa la varianza del componente  $C_j$ . La particularidad de las varianzas de los componentes es que esta es decreciente, es decir, la varianza del primer componente será mayor a la del segundo y así sucesivamente  $(\mu_1 \geq \mu_2 \geq \dots \geq \mu_p)$ . Las varianzas  $\mu_j$  suelen denominarse autovalores o *eigenvalues* de la matriz de correlación que predice a las variables  $X_1, \dots, X_p$ .

Por otra parte, los coeficientes utilizados para realizar las transformaciones lineales de las variables originales  $(v_{1j}, \dots, v_{pj})$  suelen expresarse en forma vectorial:

$$\begin{pmatrix} v_{1j} \\ \vdots \\ v_{pj} \end{pmatrix}$$

a estos vectores se los suele denominar autovector o *eigenvector* asociado con cada autovalor de las variables originales.

## 8.4 Anexo de Resultados

En el presente anexo se presentan: (i) los valores de cada uno de los componentes para cada una de las variables, obtenido a partir de aplicar el método de componentes principales (Tabla A.R. 1); (ii) los cálculos realizados para obtener los resultados correspondientes al primer componente principal (CP1) y al segundo componente (CP2) para cada uno de los países en desarrollo espacial (Diagrama A.R. 1 y Diagrama A.R. 2) y; (iii) también se detallan los cálculos realizados para obtener el valor del indicador sintético para cada uno de estos países (Diagrama A.R. 3).

**Tabla A.R. 1 Valores de los autovectores de cada componente principal por variable**

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5
LEOLyC	0,5149	0,0003	-0,2967	-0,7151	-0,3681
Escalón más alto	0,4828	-0,3801	0,3598	-0,1544	0,6849
Cantidad de Escalones	0,4964	-0,2975	0,2973	0,5192	-0,5542
IPLEOLyC	0,2267	0,8134	0,5326	-0,0568	-0,001
PPLEOLyC	0,4517	0,3246	-0,6406	0,4381	0,2971

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

**Diagrama A.R. 1. Producto de valores de las variables con los autovectores del componente 1**

País	LEOLyC	Escalón más alto	Cantidad de Escalones	IPLEOLyC	PPLEOLyC	CPI
ARG	1,18	1,57	0,68	1,94	2,68	3,35
BRA	2,43	0,02	0,68	1,03	2,35	2,89
CHI	-0,49	-0,50	0,68	0,32	-0,48	-0,30
COL	-0,91	-1,54	-0,12	-0,80	-0,55	-1,70
ECU	0,34	-0,50	-0,12	-0,80	-0,55	-0,56
PRY	-0,91	-0,50	-0,91	-0,80	-0,55	-1,60
PER	-0,07	-0,50	0,68	-0,30	-0,55	-0,26
URY	-0,91	-0,50	-1,71	0,70	-0,55	-1,65
VEN	-0,91	0,02	0,68	-0,05	1,77	0,66
MEX	-0,49	0,02	-0,12	-0,43	-0,54	-0,65
TUR	-0,07	0,02	0,68	1,45	-0,07	0,60
CRI	-0,91	-0,50	-1,71	-0,80	-0,55	-1,99
ZAF	0,76	-0,50	-0,91	1,00	-0,51	-0,31
SAU	2,02	0,02	0,68	0,11	-0,33	1,26
THA	-0,49	0,02	0,68	0,19	-0,49	-0,09
BGR	-0,91	0,02	-0,12	-0,05	-0,55	-0,78
EGY	0,76	0,02	0,68	-0,50	0,47	0,84
IDN	-0,07	0,02	0,68	3,70	-0,37	0,98
IRN	1,18	2,09	-0,12	-0,56	-0,44	1,23
KAZ	-0,91	0,02	0,68	-0,80	-0,44	-0,51
NGA	-0,91	0,02	0,68	-0,80	-0,32	-0,45
GTM	-0,91	-1,54	-1,71	-0,80	-0,55	-2,49
VNM	-0,49	0,02	0,68	-0,80	-0,51	-0,32
KOR	1,18	2,09	1,47	-0,43	0,95	2,68
MYS	-0,91	0,02	-0,12	-0,80	-0,09	-0,74
PHL	-0,91	0,02	-0,91	1,45	-0,44	-0,78
SGP	0,34	0,02	-0,91	-0,24	-0,15	-0,39
DZA	-0,07	0,02	0,68	-0,80	-0,40	-0,06
ARE	0,76	0,02	-0,91	-0,80	-0,16	-0,31
ISR	2,02	2,09	2,27	-0,34	-0,09	3,05
PKR	-0,49	2,09	-0,12	-0,43	-0,21	0,51
IRQ	-0,91	-1,54	-1,71	-0,05	-0,55	-2,32
MAR	-0,49	-2,06	-1,71	-0,05	-0,45	-2,31
CAN	1,18	0,02	0,68	0,44	3,26	2,52

X	Componente 1			=
	0,5149	LEOLyC		
	0,4828	Escalón más alto		
	0,4964	Cantidad de Escalones		
0,2267	IPLEOLyC			
0,4517	PPLEOLyC			

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

**Diagrama A.R. 2. Producto de valores de las variables con los autovectores del componente 2**

País	LEOLyC	Escalón más alto	Cantidad de Escalones	IPLEOLyC	PPLEOLyC	CP2
ARG	1,18	1,57	0,68	1,94	2,68	1,65
BRA	2,43	0,02	0,68	1,03	2,35	1,39
CHI	-0,49	-0,50	0,68	0,32	-0,48	0,09
COL	-0,91	-1,54	-0,12	-0,80	-0,55	-0,22
ECU	0,34	-0,50	-0,12	-0,80	-0,55	-0,61
PRY	-0,91	-0,50	-0,91	-0,80	-0,55	-0,37
PER	-0,07	-0,50	0,68	-0,30	-0,55	-0,44
URY	-0,91	-0,50	-1,71	0,70	-0,55	1,08
VEN	-0,91	0,02	0,68	-0,05	1,77	0,32
MEX	-0,49	0,02	-0,12	-0,43	-0,54	-0,50
TUR	-0,07	0,02	0,68	1,45	-0,07	0,94
CRI	-0,91	-0,50	-1,71	-0,80	-0,55	-0,14
ZAF	0,76	-0,50	-0,91	1,00	-0,51	1,11
SAU	2,02	0,02	0,68	0,11	-0,33	-0,22
THA	-0,49	0,02	0,68	0,19	-0,49	-0,21
BGR	-0,91	0,02	-0,12	-0,05	-0,55	-0,20
EGY	0,76	0,02	0,68	-0,50	0,47	-0,46
IDN	-0,07	0,02	0,68	3,70	-0,37	2,68
IRN	1,18	2,09	-0,12	-0,56	-0,44	-1,35
KAZ	-0,91	0,02	0,68	-0,80	-0,44	-1,01
NGA	-0,91	0,02	0,68	-0,80	-0,32	-0,97
GTM	-0,91	-1,54	-1,71	-0,80	-0,55	0,26
VNM	-0,49	0,02	0,68	-0,80	-0,51	-1,03
KOR	1,18	2,09	1,47	-0,43	0,95	-1,27
MYS	-0,91	0,02	-0,12	-0,80	-0,09	-0,66
PHL	-0,91	0,02	-0,91	1,45	-0,44	1,30
SGP	0,34	0,02	-0,91	-0,24	-0,15	0,02
DZA	-0,07	0,02	0,68	-0,80	-0,40	-0,99
ARE	0,76	0,02	-0,91	-0,80	-0,16	-0,44
ISR	2,02	2,09	2,27	-0,34	-0,09	-1,77
PKR	-0,49	2,09	-0,12	-0,43	-0,21	-1,18
IRQ	-0,91	-1,54	-1,71	-0,05	-0,55	0,87
MAR	-0,49	-2,06	-1,71	-0,05	-0,45	1,10
CAN	1,18	0,02	0,68	0,44	3,26	1,21

		Componente 2							
	X	<table border="0"> <tr><td>0,0003</td></tr> <tr><td>-0,3801</td></tr> <tr><td>-0,2975</td></tr> <tr><td>0,8134</td></tr> <tr><td>0,3246</td></tr> </table>	0,0003	-0,3801	-0,2975	0,8134	0,3246	=	
0,0003									
-0,3801									
-0,2975									
0,8134									
0,3246									
		<table border="0"> <tr><td>LEOLyC</td></tr> <tr><td>Escalón más alto</td></tr> <tr><td>Cantidad de Escalones</td></tr> <tr><td>IPLEOLyC</td></tr> <tr><td>PPLEOLyC</td></tr> </table>	LEOLyC	Escalón más alto	Cantidad de Escalones	IPLEOLyC	PPLEOLyC		
LEOLyC									
Escalón más alto									
Cantidad de Escalones									
IPLEOLyC									
PPLEOLyC									

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).

### Diagrama A.R. 3. Calculo del Indicador Sintético

	CPI		CP2		Indicador Sintético
	3,35		1,65		2,84
	2,89		1,39		2,44
	-0,30		0,09		-0,19
	-1,70		-0,22		-1,26
	-0,56		-0,61		-0,57
	-1,60		-0,37		-1,23
	-0,26		-0,44		-0,31
	-1,65		1,08		-0,83
	0,66		0,32		0,56
	-0,65		-0,50		-0,60
	0,60		0,94		0,70
	-1,99		-0,14		-1,44
	-0,31		1,11		0,11
	1,26		-0,22		0,82
	-0,09		-0,21		-0,12
	-0,78		-0,20		-0,61
$\left(\frac{0,49}{0,70}\right) \times$	0,84	+	-0,46	$\times \left(\frac{0,21}{0,70}\right)$	0,45
	0,98		2,68	=	1,48
	1,23		-1,35		0,46
	-0,51		-1,01		-0,65
	-0,45		-0,97		-0,61
	-2,49		0,26		-1,67
	-0,32		-1,03		-0,53
	2,68		-1,27		1,50
	-0,74		-0,66		-0,72
	-0,78		1,30		-0,16
	-0,39		0,02		-0,27
	-0,06		-0,99		-0,34
	-0,31		-0,44		-0,35
	3,05		-1,77		1,61
	0,51		-1,18		0,00
	-2,32		0,87		-1,37
	-2,31		1,10		-1,29
	2,52		1,21		2,13

Fuente: Elaboración propia en base a datos de diversas fuentes (Ver Anexo de Fuentes).