

Laura Herrera, Bryan Martinez, Julian Avila

Radiotelescopios de bajo costo para la enseñanza de la Radioastronomía en Colegios

6 de julio de 2025

Índice general

1. Introducción	5
1.1. Problemática	5
1.2. Justificación	6
1.3. Marco Contextual	6
1.4. Marco Legal	7
2. Objetivos	9
2.1. Objetivo General	9
2.2. Objetivos Específicos	9
3. Metodología y Desarrollo	11
3.1. Antecedentes	11
3.2. Metodología	13
4. Estudio de Mercado	15
4.1. Producto	15
4.2. Determinación de la Demanda	15
4.3. Determinación de la Oferta	17
4.4. Precio del Producto	18
4.5. Financiamiento	19
4.6. Divulgación del Proyecto	19
5. Estudio Técnico	21
5.1. Determinación del Tamaño	21
5.1.1. Estrategia de Tamaño y Variables Condicionantes	21
5.1.2. Análisis Cuantitativo de Capacidades	22
5.1.3. Proyección del Crecimiento Escalonado del Proyecto	23
5.2. Estudio de Localización Estratégica	23
5.2.1. Fase 1: Macrolocalización por Zonas de Influencia	24
5.2.2. Fase 2: Microlocalización y Selección del Clúster Piloto	25
5.3. Proceso de Producción	26
5.3.1. Diagrama de Flujo del Proceso	26
5.3.2. Tabla de Insumos y Materiales	28

5.3.3. Tabla de Recursos Humanos	28
5.3.4. Tabla de Maquinaria y Equipo	29

Capítulo 1

Introducción

1.1. Problemática

La educación en ciencias y tecnología en las instituciones públicas de Bogotá enfrenta grandes desafíos, entre ellos la falta de infraestructura especializada que permita a los estudiantes acceder a experiencias prácticas en el campo de la astronomía. A pesar del creciente interés por la exploración del universo y el desarrollo de la tecnología aeroespacial, la enseñanza en estos campos sigue siendo teórica y limitada en recursos que permitan la experimentación directa.

Actualmente, los programas de educación secundaria en ciencias naturales y física abordan temáticas relacionadas con la astronomía de manera superficial, sin contar con herramientas que faciliten la observación y el análisis de datos astronómicos reales. Esto genera una brecha de acceso al conocimiento y una disminución del interés de los estudiantes por carreras en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), lo que afecta el desarrollo científico y tecnológico del país a largo plazo. Además, la astronomía observacional suele estar restringida a telescopios ópticos, los cuales dependen de condiciones atmosféricas favorables y presentan limitaciones en la exploración de otros espectros electromagnéticos. La falta de acceso a tecnologías complementarias, como los radiotelescopios, impide que los estudiantes puedan explorar nuevas formas de observación del universo y desarrollar habilidades en el análisis de datos astronómicos.

Esta carencia de oportunidades para la experimentación científica en la educación secundaria contribuye a una creciente desconexión de la sociedad colombiana con la investigación fundamental, generando un desinterés generalizado en el avance científico. Como consecuencia, se ha reducido el presupuesto destinado a la investigación básica y, en términos más generales, la inversión en ciencia y tecnología. Colombia presenta pocas oportunidades para el desarrollo de la investigación científica, y esta situación se agrava aún más en disciplinas como la astronomía. La falta de políticas gubernamentales que prioricen la ciencia y la tecnología ha llevado a que el presupuesto asignado para estas áreas sea limitado. La astronomía, en particular, ha sido una de las disciplinas más afectadas por la falta de financiamiento y apoyo institucional.

El impacto de esta problemática se refleja en la escasez de programas educativos especializados, la carencia de infraestructura adecuada para la investigación astronómica y la migración de talento científico hacia otros países con mejores oportunidades. Además, la falta de una cultura científica en la sociedad colombiana dificulta la generación de vocaciones en disciplinas STEM, lo que perpetúa el ciclo de desinterés y baja inversión en ciencia.

La ausencia de una estrategia clara para fomentar la investigación científica en Colombia tiene repercusiones a largo plazo en el desarrollo del país. La ciencia no solo impulsa la innovación y el crecimiento económico,

sino que también contribuye a la solución de problemas sociales y ambientales. Un país que se desinteresa por la ciencia es un país que no avanza. La falta de inversión en investigación y desarrollo limita la capacidad de una nación para competir en el ámbito global, innovar en sectores estratégicos y mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos. Sin ciencia, no hay progreso tecnológico, no hay desarrollo sostenible y no hay preparación para enfrentar los desafíos del futuro.

Por ello, es fundamental implementar políticas públicas que promuevan la investigación en áreas fundamentales como la astronomía y fomentar el interés de la sociedad en la ciencia mediante estrategias educativas y divulgativas. La educación científica debe fortalecerse desde la etapa escolar, proporcionando a los estudiantes herramientas y experiencias que los motiven a explorar el universo y a desarrollar habilidades analíticas y tecnológicas, claves para el futuro del país.

1.2. Justificación

La construcción de radiotelescopios en instituciones de educación pública en Bogotá representa una solución innovadora y viable para fortalecer la enseñanza de la astronomía y las ciencias espaciales en la educación secundaria. Un radiotelescopio permitiría a los estudiantes realizar observaciones astronómicas en cualquier momento del día, sin depender de la visibilidad atmosférica, y facilitaría la exploración de objetos y fenómenos inaccesibles para los telescopios ópticos, como púlsares, cuásares y la radiación de fondo de microondas. Este proyecto no solo contribuiría al fortalecimiento de la educación en ciencias, sino que también incentivaría la curiosidad científica y el pensamiento crítico en los estudiantes, promoviendo el desarrollo de habilidades analíticas y la aplicación de conocimientos matemáticos y físicos en entornos reales.

Además, la divulgación de estos instrumentos desempeña un papel fundamental en la promoción de la ciencia dentro de la sociedad colombiana. Fomentar el interés por el conocimiento científico desde edades tempranas genera una sociedad con una mayor inclinación hacia la ciencia, lo que a su vez incrementa la probabilidad de que en el futuro exista un gobierno que reconozca su importancia y la apoye activamente. Si bien la evolución del desarrollo científico y tecnológico en el país está influenciada por múltiples factores, iniciativas como esta pueden servir como punto de partida para la construcción de una red de divulgación científica más amplia y estructurada. De esta manera, se promueve una cultura de conocimiento y exploración en las nuevas generaciones, allanando el camino para una sociedad más informada y comprometida con el progreso científico.

1.3. Marco Contextual

- **Radioastronomía:** es una rama de la astronomía que estudia los objetos celestes en el firmamento, en especial en la Tierra mediante la detección, tratamiento y posterior análisis de las ondas de radio. A diferencia de la astronomía óptica, la radioastronomía permite observar objetos que podrían ser invisibles en el espectro electromagnético visible debido a la absorción de la luz por polvo y gas interestelar. Desde el descubrimiento de la radioseñal de la Vía Láctea por Karl Jansky en 1931, la radioastronomía ha permitido la detección de objetos como púlsares, galaxias activas y la radiación de fondo de microondas [1].
- **Radiotelescopio:** es un dispositivo utilizado para el estudio de las emisiones de radiación electromagnética de los cuerpos celestes, en el rango de las radiofrecuencias [2].

- **Espectro electromagnético:** representa la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Se extiende desde radiaciones con longitud de onda pequeña como los rayos cósmicos y rayos gamma súper energéticos, hasta ondas con gran longitud de onda como las de radio, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos [2].
- **Ondas de radio:** son un tipo de radiación electromagnética, que ocupa el rango de las longitudes de onda más grandes del espectro electromagnético, comprende desde los 3 kHz de frecuencia, con una longitud de onda de 100 km, hasta los 300 GHz de frecuencia, con una longitud de onda de 1 mm. Las ondas de radio reciben también el nombre de radiofrecuencia RF, se localizan en una parte del espectro electromagnético denominado espectro radioeléctrico [3].
- **Antena:** Una antena es un dispositivo que convierte señales eléctricas en ondas electromagnéticas y viceversa. Se utiliza en sistemas de comunicación para emitir o recibir señales de radiofrecuencia (RF) [4].
- **Web Scraping:** Proceso automatizado de extraer datos de sitios web. Implica obtener páginas web, analizar su contenido (HTML, etc.) e identificar y seleccionar información específica. Los datos extraídos se transforman y almacenan en un formato estructurado para su uso posterior [5].
- **Arduino:** Es una plataforma de hardware libre basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo (IDE) que permite crear proyectos interactivos de electrónica y programación [6].
- **Protoboard:** Es una placa de pruebas utilizada para construir circuitos electrónicos sin necesidad de soldadura. Permite insertar y conectar componentes fácilmente para prototipado rápido [7].
- **LNB:** Es un dispositivo electrónico que se monta en el extremo de una antena parabólica. Su función principal es captar las señales de microondas de alta frecuencia provenientes de un satélite, amplificarlas con el menor ruido posible (low noise), y convertirlas a una frecuencia más baja para que puedan ser transmitidas a través de un cable coaxial hacia el receptor [8].
- **Cable coaxial:** Es un tipo de cable eléctrico diseñado para transmitir señales de alta frecuencia con baja pérdida. Está compuesto por un conductor central, una capa aislante, un blindaje metálico y una cubierta exterior protectora. Su diseño concéntrico permite una excelente protección contra interferencias electromagnéticas [7].

1.4. Marco Legal

Para la construcción del radiotelescopio se emplea el diseño propuesto por Menor Adame [9], el cual se encuentra disponible bajo una licencia de uso no comercial, permitiendo su libre utilización y adaptación siempre que se otorgue el debido reconocimiento al autor original. Esta licencia asegura que el proyecto pueda ser replicado y modificado con fines educativos y de divulgación científica, respetando los derechos de autor y promoviendo el acceso abierto al conocimiento técnico.

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo General

- Promover el conocimiento en ciencia y tecnología en instituciones educativas mediante la construcción e implementación de radiotelescopios.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de mercado de radiotelescopios de bajo costo.
- Realizar un estudio técnico de los materiales necesarios.
- Realizar un estudio financiero de los costos y recursos disponibles y necesarios.
- Construir radiotelescopios de bajo costo adaptados a instituciones educativas en Bogotá.

Capítulo 3

Metodología y Desarrollo

3.1. Antecedentes

En los últimos años, ha surgido un creciente interés por integrar la radioastronomía en diversos entornos educativos, desde universidades hasta escuelas de nivel medio y centros de divulgación científica. Estas iniciativas buscan no solo facilitar el acceso a herramientas de observación avanzadas, sino también promover la adquisición de los conocimientos necesarios para el diseño, construcción y operación de radiotelescopios. De esta manera, se fomenta una comprensión más profunda del universo a través de las ondas de radio.

Un ejemplo destacado de estos esfuerzos es **PARTNeR (Proyecto Académico con el Radio Telescopio de NASA en Robledo)**. Este programa educativo único, permite a estudiantes de secundaria y universidad en España operar de manera remota un radiotelescopio de 34 metros de diámetro, ubicado en el Madrid Deep Space Communications Complex (MDSCC). El objetivo principal de PARTNeR es acercar la radioastronomía a las aulas, permitiendo a los participantes realizar observaciones científicas reales de objetos como sistemas binarios de rayos X, cuásares, la magnetosfera de Júpiter y radiofuentes en la Vía Láctea.

Desde su inicio en 2003, el programa ha logrado una notable participación, involucrando a 85 centros de educación secundaria, 7 universidades y 6 agrupaciones astronómicas. A lo largo de su trayectoria, más de 2,500 estudiantes y 103 profesores han llevado a cabo 105 sesiones científicas. Además, las actividades presenciales complementarias en el Centro de Entrenamiento y Visitantes han congregado a un promedio de 3,500 estudiantes por curso. El programa se robustece mediante formación docente a distancia y presencial, materiales didácticos, talleres y la revista científica *PARTNeRama*. Incluso ha participado en colaboraciones internacionales como *Júpiter: Proyecto 24*, una observación continua de 24 horas coordinada con la NASA y otros radiotelescopios [10].

Aunque no se centra específicamente en radiotelescopios, la iniciativa **Del Aula al Universo, un telescopio para cada escuela** comparte la filosofía fundamental de llevar la ciencia y la tecnología a las instituciones educativas y despertar el interés por la investigación científica. Impulsado por la *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla* (BUAP), el *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica* (INAOE) y Victorinox México desde 2010, este proyecto comenzó con la construcción y entrega de 100 telescopios newtonianos de 14 cm a escuelas en Puebla y Tlaxcala. Más allá de proveer el instrumento, el programa incluye capacitación en astronomía observacional y en el manejo y construcción de los telescopios [11].

Su éxito ha sido notable, expandiéndose significativamente desde 2011 con la construcción de más de mil telescopios y la participación de más de 5 mil estudiantes y mil profesores de secundaria y preparatoria en múltiples estados de México. Para asegurar la sostenibilidad y accesibilidad, la *Facultad de Ciencias Físico*

Matemáticas de la BUAP ha implementado soluciones ingeniosas, como el uso de engranes de lavadoras para construir monturas de bajo costo y fácilmente reparables. El programa ha evolucionado hacia un enfoque pedagógico más amplio, capacitando a docentes en nuevas estrategias de enseñanza científica y generando proyectos derivados, como la fabricación de microscopios con materiales reciclados, extendiendo así su impacto positivo en la educación científica del país [12].

Complementando estos proyectos prácticos, existe una vasta cantidad de manuales y documentación disponibles en línea para la construcción y uso educativo de radiotelescopios. Estos recursos son cruciales para acercar el conocimiento técnico y científico a las aulas, facilitando la enseñanza práctica de la radioastronomía y la astrofísica. Por ejemplo, el *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica* (INAOE) en México ha desarrollado un manual detallado para construir radiotelescopios caseros de bajo costo operando en la banda de 12 GHz, proponiendo además prácticas específicas para su uso en divulgación y enseñanza [13].

A nivel internacional, el prestigioso observatorio *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array* (ALMA), operado conjuntamente por el *European Southern Observatory* (ESO), el *National Astronomical Observatory of Japan* (NAOJ) y el *National Radio Astronomy Observatory* (NRAO), ha colaborado en la creación del manual *Radioastronomía ALMA en la Escuela*. Este recurso, dirigido a docentes, cubre desde la historia y principios de la radioastronomía hasta sus fundamentos físicos, líneas de investigación actuales con ALMA y actividades didácticas graduadas por dificultad, todo ello presentado de forma accesible para profesores con conocimientos básicos de física y química [14].

En un contexto más local, la *Universidad Pedagógica Nacional de Colombia* ha producido un manual exhaustivo sobre el diseño y construcción de un radiotelescopio de bajo costo. Este documento describe el diseño modular, componentes, costos, procedimientos de conexión, calibración y actividades experimentales basadas en enfoques constructivistas. Este trabajo demuestra la viabilidad de construir instrumentos precisos con materiales accesibles, abriendo puertas para que estudiantes de secundaria participen activamente en la ciencia [15].

Más allá de los proyectos centrados en instrumentos específicos o manuales, existen programas formativos más amplios como la **Escuela de Astronomía Observacional para Estudiantes Latinoamericanos** (ESAOBELA). Esta iniciativa, organizada principalmente por el *Instituto de Astronomía* de la *Universidad Nacional Autónoma de México* (UNAM), busca ofrecer formación integral en astronomía observacional a estudiantes de licenciatura de toda Latinoamérica. Aunque la radioastronomía no es el eje central de sus programas, algunas ediciones han incluido talleres y prácticas sobre técnicas de observación en radiofrecuencias, sensibilizando a los participantes sobre su importancia en la astronomía moderna.

Finalmente, la difusión y el fomento de la radioastronomía educativa también se nutren del intercambio en eventos académicos. El **Congreso Colombiano de Astronomía y Astrofísica**, por ejemplo, sirve como plataforma para que estudiantes, docentes e investigadores compartan conocimientos y presenten proyectos innovadores. En una edición reciente, estudiantes de la *Universidad Distrital* presentaron un radiotelescopio desarrollado durante un semestre académico, demostrando así la capacidad de los estudiantes para concebir y materializar proyectos científicos complejos en un entorno formativo [16].

Esta experiencia no solo evidenció el potencial académico de los estudiantes, sino que también generó propuestas concretas para llevar esta tecnología a diversos sectores educativos. El objetivo es divulgar la astronomía y promover el aprendizaje práctico mediante la construcción y operación de instrumentos científicos accesibles. Iniciativas como esta, surgidas de la experiencia directa en el aula y expuestas en foros académicos, refuerzan la meta de facilitar el acceso a la radioastronomía educativa. Además, integran la disciplina en el currículo escolar, motivando a las nuevas generaciones a explorar el cosmos desde una perspectiva científica rigurosa y experimental.

3.2. Metodología

Este proyecto se enmarca dentro de una investigación aplicada, la cual busca generar conocimiento con un propósito práctico y concreto: la implementación de radiotelescopios en instituciones educativas para mejorar la enseñanza de la astronomía y fomentar el desarrollo de habilidades científicas en los estudiantes.

En este caso, la investigación aplicada se centra en evaluar, diseñar e implementar una infraestructura tecnológica educativa que pueda ser utilizada directamente en el ámbito académico. Se utilizarán métodos cuantitativos y cualitativos para analizar la viabilidad del proyecto, su impacto en la educación y su sostenibilidad a largo plazo.

Inicialmente, los radiotelescopios serán instalados en colegios privados, ya que estas instituciones pueden colaborar con la financiación del proyecto. Además, suelen contar con mayor flexibilidad administrativa, lo cual facilita la implementación inicial y la evaluación de los resultados. Esta estrategia permitirá consolidar la infraestructura y los procesos educativos necesarios, con miras a expandir posteriormente la iniciativa hacia los colegios públicos de Bogotá, garantizando así un mayor alcance e inclusión educativa.

Para la implementación del proyecto de construcción de radiotelescopios en instituciones de educación pública en Bogotá, se propone la siguiente metodología:

- **Estudio de mercado de radiotelescopios de bajo costo:** Los radiotelescopios que se construirán son de bajo costo, es decir, se busca disminuir al mínimo los costos de la producción, por esto mismo, si se cuenta con la financiación de diferentes instituciones de educación privada, se puede ofrecer un radiotelescopio por institución.
Para ello, tomaremos como referencia el plan desarrollado por la Secretaría de Educación del Distrito en alianza con el Instituto Distrital de las Artes, en el que se incluyeron 32 colegios de 12 localidades de Bogotá, como se muestra en la siguiente noticia: https://www.educacionbogota.edu.co/portal_institucional/noticia/la-astronomia-llego-este-ano-21-mil-estudiantes-de-colegios-oficiales-de-bogota
Aunque nuestra propuesta solo contempla 10 instituciones educativas inicialmente, debido a las limitaciones presupuestales que impiden la producción de más radiotelescopios.
- **Estudio técnico de los materiales necesarios:** Para la construcción del radiotelescopio se necesita una antena parabólica, un arduino R3, un computador con el software correspondiente para el correcto funcionamiento del arduino, un buscador de satélites y un circuito amplificado, encargado de aumentar la señal que recibe la antena para que el arduino pueda leerla.
- **Estudio financiero de los costos y recursos disponibles:** Para la antena parabólica, se tiene un precio promedio de \$500000 COP y un tamaño de 1.2 metros. Para el caso del arduino, su precio es de \$150000 COP. El computador puede ser proporcionado por la institución educativa al igual que el software para su funcionamiento, el cual es de uso libre y sin costo. Para el circuito amplificador se cuenta con un precio promedio de \$150000 COP. Finalmente, también se debe tener en cuenta el precio por la capacitación de los docentes para el uso del radiotelescopio y la mano de obra para construirlo.
- **Diagnóstico y selección de instituciones:** Se realizará un estudio para identificar las instituciones educativas con mayor potencial para albergar un radiotelescopio, considerando factores como ubicación, infraestructura disponible y disposición de la comunidad educativa. Esta selección se hará con base a la base de datos del gobierno: https://www.datos.gov.co/Educaci-n/LISTADO-COLEGIOS-BOGOTA/qijw-htwa/about_data
Asimismo, se tomarán en cuenta aquellas instituciones educativas que hayan participado en actividades o eventos vinculados con la astronomía, puesto que demuestran un interés en esta área de la Física. Esto también permitirá optimizar el proceso de implementación de un radiotelescopio en dichos establecimientos.

Un ejemplo de lo anterior se encuentra en las instituciones referenciadas en la siguiente publicación de la Universidad Sergio Arboleda: <https://www.usergioarboleda.edu.co/noticias/astrofest-un-evento-para-acercar-a-los-estudiantes-de-colegio-a-las-ciencias-exactas-y-la-astronomia/>

- **Diseño y planificación:** Se desarrollará un plan de implementación detallado con cronogramas, responsables y actividades específicas. Se definirán las especificaciones de cada radiotelescopio y su integración con el currículo escolar. Además, se diseñarán protocolos de operación y seguridad para garantizar su correcto uso.
- **Instalación y puesta en marcha:** Se realizará la instalación de los radiotelescopios en los colegios seleccionados, asegurando que su ubicación minimice interferencias externas y maximice la recepción de señales. Se harán pruebas de funcionamiento y calibración de los equipos para garantizar su operatividad óptima.
- **Capacitación docente y estudiantil:** Se diseñarán y ejecutarán programas de formación para docentes y estudiantes, abordando tanto el uso del radiotelescopio como el análisis e interpretación de datos astronómicos. Se promoverán proyectos escolares que utilicen el radiotelescopio como herramienta de aprendizaje.
- **Integración curricular:** Se elaborarán guías didácticas y materiales educativos para facilitar la incorporación del radiotelescopio en las clases de física, matemáticas y tecnología. Se desarrollarán metodologías activas que permitan a los estudiantes aplicar conceptos teóricos en la práctica.
- **Monitoreo y evaluación:** Se implementará un sistema de seguimiento que permita evaluar el impacto del proyecto en la enseñanza de la astronomía y las ciencias en general. Se realizarán mediciones periódicas sobre el uso del radiotelescopio, el nivel de participación estudiantil y la efectividad del aprendizaje. A partir de estos datos, se harán ajustes para mejorar el proyecto y explorar su expansión a otras instituciones.

Capítulo 4

Estudio de Mercado

4.1. Producto

Se ofrece producto-servicio híbrido, por un lado, un conjunto tangible de dispositivos tecnológicos (los componentes del radiotelescopio); por otro, se incorpora un componente formativo y de soporte que lo convierte en una experiencia educativa completa.

Los proveedores elegidos para obtener los materiales para el radiotelescopio son:

- **TD Electrónica:** <https://tdelectronica.com/>
- **Vicartechz:** <https://vicartechz.com/>
- **Mercado Libre Colombia:** <https://www.mercadolibre.com.co/>
- **Servisistemas:** https://servisistemas.com.co/antenas?SubmitCurrency=1&id_currency=1&page=2
- **AZ Colombia Store:** <https://www.az-colombia.store/producto/caja-x-5-antenas-tv-satelital-60cm-lnb-ku-universal-accesorios/>

Estos cinco proveedores fueron elegidos como los principales puesto que son los que ofrecen la mayor cantidad de materiales necesarios y también por ofrecer los precios más competitivos del mercado.

4.2. Determinación de la Demanda

A partir del conjunto de datos [17], se obtuvo una lista de 2404 instituciones educativas públicas y privadas en Bogotá. Dicha información contaba con características de interés que incluían el nombre de la institución; la zona (rural, urbana o ambas); el nivel (primaria, secundaria, preescolar, etc.); la especialidad (académica, industrial, comercial); los grados (primero, segundo, octavo, etc.); el idioma (adicionales al español); y el tipo de servicio (público, privado o mixto).

Los datos se filtraron para considerar únicamente instituciones con educación secundaria (nivel), que impartieran grados entre octavo y undécimo, con especialidad académica y de tipo privado. La justificación para la selección de estos grados radica en que los estudiantes de mayor edad poseen la madurez y el bagaje de conocimientos necesarios para trabajar eficazmente con los dispositivos. Por su parte, la elección de instituciones privadas se debe a consideraciones de financiamiento, como se estableció previamente.

Este proceso de selección redujo el número de instituciones de 2404 a 565 posibles. Dado que esta cifra seguía siendo elevada, se aplicó un filtro adicional utilizando el modelo de enseñanza, enfocándose exclusivamente en instituciones no orientadas a nivelación o a la educación para adultos. Asimismo, se descartaron las instituciones con calendario B, debido al desfase temporal con los horarios de los integrantes del equipo del proyecto. Con la información obtenida de la base de datos del Ministerio de Educación, el número mínimo posible de instituciones identificadas fue de 490.

De esta lista de instituciones, se realizó un proceso de web scraping y se consultaron sus respectivos sitios web. Se seleccionaron aquellas que hacían mención explícita a “STEM”, “énfasis en ciencias” o “astronomía”, resultando en una lista final de 238 instituciones.

Con base en estos resultados, estimamos una demanda potencial para nuestro proyecto de aproximadamente 270 instituciones. Esta estimación considera la posible existencia de datos faltantes durante los procesos de filtrado y web scraping. En una ciudad con más de 2400 instituciones educativas, esto representa aproximadamente un 11 % del mercado potencial.

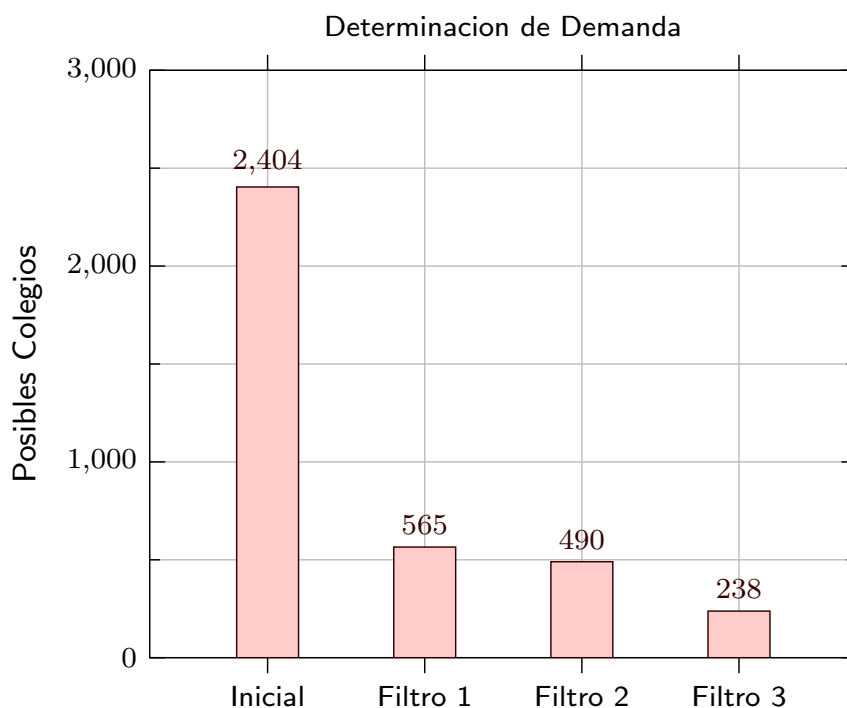


Figura 4.1 Determinación de la demanda según filtro.

A partir de la base de datos, se observa que la cantidad de instituciones es estable, no se generan nuevas instituciones ya que la cantidad de estudiantes va rotando. Por ello se toma que la demanda no cambiara en los próximos 5 años.

4.3. Determinación de la Oferta

La determinación de la oferta de nuestro proyecto está intrínsecamente vinculada a las limitaciones en la producción de los radiotelescopios y la disponibilidad de talento humano. Específicamente, las principales restricciones son la adquisición y procesamiento de los materiales de fabricación de cada unidad, así como la capacidad y dedicación del personal involucrado. Por ejemplo, la complejidad de ciertos componentes electrónicos y mecánicos, junto con sus tiempos de entrega, puede influir directamente en el ritmo de ensamblaje.

En cuanto al talento humano, el proyecto contempla la participación de estudiantes de los programas de Física o Licenciatura en Física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Estos estudiantes colaborarán como pasantes, integrando su contribución como parte de su proceso de trabajo de grado. Esta modalidad no solo optimiza los recursos, sino que también ofrece una experiencia formativa valiosa.

Se proyecta contar con la participación de 3 estudiantes durante el primer año de ejecución del proyecto. Para el segundo año, se prevé incrementar este número a un total de 6 estudiantes, lo que permitiría una mayor capacidad de producción y soporte, con un último incremento a 9 instituciones, limitando a este valor por ser la cantidad máxima posible de pasantes que se pueden llegar a tener en un año educativo. Es fundamental destacar que todos los estudiantes estarían bajo la supervisión directa de docentes tutores y adscritos al semillero de Investigación en Energías Renovables de la Universidad. Esto asegura un marco de trabajo estructurado y el apoyo académico necesario.

A continuación, se detallan las posibles instituciones educativas aliadas clave para implementar la iniciativa en su fase inicial:

1. Colegio Abraham Maslow [18]: Esta institución ha destacado por su participación activa en eventos astronómicos. Su Club de Astronomía fue galardonado en el concurso internacional #NameExoWorlds, organizado por la Unión Astronómica Internacional. El colegio bautizó un sistema planetario de la constelación Antlia con los nombres Macondo (estrella) y Melquíades (exoplaneta), en honor a Gabriel García Márquez, logrando así un hito en la astronomía y la cultura nacional.
2. Colegio Empresarial Los Andes [19]: La institución cuenta con un planetario y un observatorio llamado Astroandes, espacios donde los estudiantes desarrollan actividades de observación e investigación astronómica. Su enfoque pedagógico está orientado al fomento de la curiosidad científica y al aprendizaje activo del universo.
3. Colegio Padre Manyaneit [20]: Cuenta con un observatorio astronómico denominado “La estrella de Belén”, desde donde promueven el conocimiento del cosmos entre sus estudiantes. Se ofrece una actividad extracurricular de astronomía orientada a fomentar el amor por el universo y la participación en eventos astronómicos.
4. Colegio Calasanz Bogotá [21]: Su Semillero de Astronomía participa activamente en actividades de divulgación científica. En octubre, recibió la visita del grupo de bioastronomía Shaula en el marco de la Semana Mundial del Espacio, donde se realizaron talleres sobre satélites artificiales y prototipos creativos, lo cual evidencia su interés por fortalecer los espacios de aprendizaje en ciencia.
5. Gimnasio Bilingüe Campestre Marie Curie [22]: Institución educativa privada ubicada en la sabana de Bogotá, que promueve el pensamiento crítico, la creatividad y el trabajo colaborativo. En su propuesta educativa se destaca el interés por desarrollar habilidades del siglo XXI mediante proyectos con impacto en la ciencia, la tecnología y el medio ambiente.

Adicionalmente, se identificaron colegios que participaron en el evento AstroFest [23], organizado por la Universidad Sergio Arboleda, como posibles aliados interesados en la astronomía: Liceo Campestre Cafam

[24], Colegio Maximino Poitiers [25], Liceo Pedagógico Nuestra Señora de la Sabiduría [26] y Colegio Agustiniiano Tagaste [27].

El proyecto enfrenta un notable desequilibrio estratégico entre una demanda potencial, amplia y validada, y una oferta inicial deliberadamente restringida. Mientras el estudio identifica un mercado robusto de aproximadamente 270 colegios privados en Bogotá con una clara vocación científica, la capacidad operativa del proyecto, ligada a la participación de solo tres estudiantes en su primer año, limita la implementación a un selecto y reducido grupo de instituciones pioneras.

Esta disparidad, sin embargo, no revela una debilidad, sino que define una estrategia de penetración de mercado prudente y enfocada. El plan consiste en aprovechar la fuerte conexión temática con un grupo de aliados clave para construir casos de éxito sólidos y verificables. De este modo, mientras la demanda confirma el potencial a largo plazo, la oferta asegura un crecimiento gradual y sostenible, donde el principal desafío será gestionar el interés del mercado más amplio mientras la capacidad productiva escala año tras año.

4.4. Precio del Producto

A continuación se listan los componentes principales del radio telescopio y un valor estimado de los costos según distribuidor.

Antenas y LNB:

- **Servisistemas:** COP\$ 460.000
- **AZ Colombia Store:** COP\$ 400.000 (precio de cinco antenas)
- **Mercado Libre Colombia:** COP \$ 200.000

Arduino R3:

- **TD Electrónica:** COP\$ 60.0000
- **Mercado Libre Colombia:** COP\$ 150.000

Potenciometro:

- **TD Electrónica:** COP\$ 3.000
- **Mercado Libre Colombia:** COP\$ 4.000

Protoboard:

- **TD Electrónica:** COP\$ 20.000
- **Mercado Libre Colombia:** COP\$ 25.000

Cables:

- **TD Electrónica:** COP\$ 15.000
- **Vicartechz:** COP\$ 10.000
- **Mercado Libre Colombia:** COP\$ 30.000

Se tiene previsto un costo de COP\$ 300.000 para la mano de obra. Haciendo un promedio de COP\$ 800.000 para la construcción de los radiotelescopios y de la enseñanza para los estudiantes.

4.5. Financiamiento

Para la financiar el proyecto, se plantea inicialmente vender los radiotelescopios a instituciones educativas privadas. Además del dispositivo, se incluirá la oferta de cursos y capacitaciones dirigidas a docentes y estudiantes, con el fin de garantizar el uso pedagógico y científico adecuado del instrumento. Esta estrategia permitirá consolidar el modelo operativo y asegurar recursos que, en una fase posterior, posibiliten la implementación del proyecto en instituciones públicas ubicadas en Bogotá.

Para facilitar la adquisición por parte de las instituciones, se proponen dos modelos de financiación flexibles. El primero consiste en un pago inicial completo por parte del colegio antes del inicio del proyecto, lo que asegura los fondos de manera directa. El segundo modelo, pensado para instituciones que prefieran diferir el desembolso, implica que el proyecto gestione un crédito a corto plazo con una entidad bancaria, para lo cual se explorarían líneas de crédito empresarial con bancos de reconocida trayectoria como **Bancolombia, Davivienda o Banco de Bogotá**. La institución educativa se comprometería a realizar el pago al finalizar la implementación, momento en el cual el proyecto saldaría el préstamo. Esta dualidad busca adaptarse a las diferentes capacidades y planificaciones presupuestarias de los colegios, ampliando así el alcance potencial de la iniciativa.

Se realizó una revisión de entidades públicas para evaluar posibles líneas de financiación y apoyo institucional:

- Secretaría de Educación de Bogotá [28]: Aunque actualmente no cuenta con convocatorias abiertas orientadas específicamente a proyectos astronómicos, se identificó una experiencia previa en 2023 con el programa “Centro de Interés en Astronomía (CIA)”, desarrollado en alianza con el Instituto Distrital de las Artes (Idartes) a través del Planetario de Bogotá. Esta estrategia STEM benefició a estudiantes de 32 colegios oficiales en 12 localidades [29]. Este antecedente sugiere la posibilidad de recibir apoyo institucional una vez el proyecto esté en marcha.
- Atenea (Agencia Distrital para la Educación Superior, la Ciencia y la Tecnología): Aunque mantiene convocatorias abiertas, estas están actualmente orientadas a temáticas como economía circular, salud y bioeconomía [30], por lo que no se encontró una línea directa con el presente proyecto.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias): En su portal se identifica la opción de solicitar donaciones para proyectos científicos y de apropiación social del conocimiento; sin embargo, a la fecha esta modalidad no se encuentra habilitada y no hay convocatorias vigentes alineadas con la iniciativa [31].

A pesar de que en el momento actual no se han identificado convocatorias específicas para proyectos de astronomía escolar, los antecedentes de colaboración institucional, los programas STEM y la existencia de colegios con infraestructura y actividades científicas robustas muestran un panorama favorable para establecer alianzas estratégicas.

La fase piloto en colegios privados permitirá validar la metodología y generar evidencia del impacto, lo cual facilitaría la posterior búsqueda de financiamiento y apoyo gubernamental.

4.6. Divulgación del Proyecto

Para la divulgación y promoción del proyecto, se plantea establecer contacto con la Red Colombiana de Astronomía (RECA), que cuenta con un programa denominado “La astronomía va a tu colegio”. Este programa tiene un enfoque alineado con la iniciativa de llevar radiotelescopios a instituciones educativas, facilitando

el acercamiento de la astronomía a estudiantes mediante herramientas didácticas y actividades prácticas. A través de la página oficial de RECA, es posible manifestar el interés en participar en este programa, lo que permitirá divulgar las actividades realizadas con los radiotelescopios en los colegios, ampliando así el alcance y la visibilidad del proyecto. Además, se contempla la posibilidad de contactar directamente a los colegios base seleccionados para presentarles la iniciativa de manera proactiva, con el fin de fortalecer alianzas y asegurar una mayor participación y compromiso institucional [32].

Capítulo 5

Estudio Técnico

5.1. Determinación del Tamaño

La definición del tamaño del proyecto es un análisis estratégico que balancea la oportunidad de mercado con los recursos disponibles, para asegurar un crecimiento sostenible y minimizar los riesgos. A continuación, se detalla la estrategia de dimensionamiento y se cuantifican las capacidades operativas del proyecto.

5.1.1. Estrategia de Tamaño y Variables Condicionantes

La estrategia de tamaño seleccionada para este proyecto es la de “tamaño inferior a la demanda con ampliaciones posteriores”. Esta decisión se fundamenta en un análisis integral de las variables clave que condicionan el proyecto, garantizando una entrada al mercado prudente y una escalabilidad controlada. Las variables analizadas son:

- **Dimensiones del Mercado:** El estudio de mercado ha identificado una demanda potencial robusta, estimada en aproximadamente 270 colegios privados en Bogotá con un perfil alineado a la iniciativa (énfasis en ciencias o astronomía). Esta cifra es sustancialmente mayor que la capacidad operativa inicial, lo que confirma un amplio potencial de crecimiento y justifica una estrategia que no intente satisfacer toda la demanda de inmediato.
- **Capacidad de Financiamiento:** El modelo operativo depende de la venta del producto-servicio, con un costo promedio de \$800.000 COP por unidad, o de la gestión de créditos a corto plazo. Este factor financiero limita la capacidad de producción en la fase inicial, haciendo inviable una operación a gran escala y reforzando la necesidad de un crecimiento gradual y autofinanciado.
- **Tecnología y Disponibilidad de Insumos:** La tecnología del radiotelescopio es de bajo costo y no impone un volumen mínimo de producción para ser viable. Si bien los componentes materiales están disponibles a través de proveedores identificados, el insumo más crítico y limitante es el talento humano. La capacidad real del proyecto está directamente ligada al número de estudiantes pasantes de la Universidad Distrital que puedan ser incorporados cada año.

5.1.2. Análisis Cuantitativo de Capacidades

Para dimensionar correctamente la operación, es necesario desglosar y cuantificar las diferentes capacidades del equipo.

A. Justificación de Carga Horaria y Plan de Trabajo por Pasante.

Si bien la normativa de la Universidad Distrital establece una dedicación mínima de 384 horas para la pasantía [33], la naturaleza de este proyecto, que funciona como un trabajo de grado integral, demanda una carga horaria superior para garantizar la calidad y el cumplimiento de todos sus objetivos técnicos, pedagógicos y de investigación. Se propone una dedicación de “600 horas por pasante” distribuidas a lo largo de dos semestres académicos (aproximadamente 10 meses).

Esta extensión se justifica por la alta complejidad del “producto-servicio”, que exige no solo la construcción de un dispositivo, sino también la gestión de un proyecto de intervención educativa completo, incluyendo el desarrollo de material didáctico, la capacitación de personal y la evaluación de impacto.

A continuación, se detalla el plan de trabajo y la distribución de las 600 horas a lo largo de los dos semestres:

SEMESTRE 1: Desarrollo, Producción e Implementación Inicial (Total: 320 horas)

- *Mes 1-2: Planificación y Producción (120 horas)*. Foco en el trabajo técnico interno. Incluye la planificación detallada del proyecto, adquisición de componentes, ensamblaje completo del hardware y pruebas iniciales.
- *Mes 3: Configuración y Preparación Pedagógica (100 horas)*. Instalación y configuración de todo el software necesario. Se inicia el desarrollo y la adaptación de las guías didácticas y el material de capacitación para el colegio asignado.
- *Mes 4-5: Instalación y Capacitación Inicial (100 horas)*. Traslado e instalación del equipo en el colegio. Se realiza la calibración final y se ejecutan los primeros talleres de formación intensiva para el núcleo de docentes y el grupo de estudiantes pioneros.

SEMESTRE 2: Acompañamiento, Soporte y Cierre Académico (Total: 280 horas)

- *Mes 6-7: Acompañamiento de Proyectos (120 horas)*. El pasante asesora al grupo de estudiantes en la formulación y ejecución de su primer proyecto de observación real, aplicando lo aprendido en los talleres. Se resuelven dudas y se fomenta la autonomía.
- *Mes 8: Soporte y Evaluación (80 horas)*. Se brinda soporte técnico y pedagógico continuo de manera remota. Se aplican instrumentos para medir el impacto y la apropiación de la tecnología por parte de la comunidad educativa.
- *Mes 9-10: Cierre y Elaboración de Informe Final (80 horas)*. Sistematización de la experiencia, análisis de los datos de impacto y elaboración del documento de trabajo de grado, un requisito académico indispensable que requiere una dedicación significativa.

Esta estructura de 600 horas por pasante se considera óptima, ya que asegura que cada fase del proyecto se complete con rigurosidad, permitiendo no solo una implementación técnica exitosa, sino también un acompañamiento pedagógico de alto valor y el cumplimiento de los requisitos académicos del pasante.

B. Capacidad de Formación (Pedagógica).

La capacidad pedagógica del proyecto está directamente ligada a la implementación en cada institución. Por cada colegio atendido por un pasante, se generará el siguiente impacto formativo directo:

- **Formación Docente:** Capacitación de un núcleo de 2 a 3 docentes por institución, quienes actuarán como multiplicadores del conocimiento.
- **Formación Estudiantil:** Capacitación directa de un grupo inicial de 15 a 20 estudiantes (miembros de semilleros o clubes de ciencia), quienes serán los primeros usuarios del equipo.

5.1.3. Proyección del Crecimiento Escalonado del Proyecto

Con base en los cálculos anteriores y la estrategia de crecimiento, se proyecta el tamaño del proyecto para un horizonte de 5 años. A partir del tercer año, se proyecta que la capacidad operativa del proyecto alcance su estado de madurez y se mantenga estática. Esto se debe a que se habrá alcanzado el número máximo de 9 pasantes que el proyecto puede gestionar de manera efectiva en un año educativo, según lo establecido en el estudio de oferta.

Cuadro 5.1 Proyección Integrada de Capacidades del Proyecto (Horizonte de 5 Años).

Capacidad	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
N° de Pasantes	3	6	9	9	9
Implementación (Colegios)	3	6	9	9	9
Formación (Docentes)	6 - 9	12 - 18	18 - 27	18 - 27	18 - 27
Formación (Estudiantes)	45 - 60	90 - 120	135 - 180	135 - 180	135 - 180

De esta manera, el tamaño inicial del proyecto se define como una capacidad operativa para implementar 3 unidades de radiotelescopio en 3 colegios durante el primer año, con la participación de 3 pasantes. Esta escala inicial permitirá validar el modelo, perfeccionar los procesos y construir una base sólida para el crecimiento proyectado en la Tabla 5.1, asegurando que el proyecto escale de manera sostenible y con un alto estándar de calidad.

5.2. Estudio de Localización Estratégica

El estudio de localización para este proyecto se enfoca en determinar las áreas geográficas y las instituciones educativas que ofrecen las mayores probabilidades de éxito para la fase piloto. El objetivo es seleccionar un grupo de colegios que no solo tengan una alta afinidad por las ciencias, sino que también estén agrupados geográficamente para optimizar la logística y el soporte.

5.2.1. Fase 1: Macrolocalización por Zonas de Influencia

Esta fase busca seleccionar la región geográfica más estratégica para enfocar los esfuerzos durante el primer año de implementación. Se consideran no solo las localidades de Bogotá, sino también los municipios aledaños con una alta concentración de colegios de interés.

Alternativas de Macrolocalización.

Se proponen tres zonas de influencia:

- **Alternativa A: Bogotá - Eje Norte (Usaquén y Suba).** Estas localidades concentran un número muy elevado de colegios privados con perfiles bilingües, internacionales y con un demostrado enfoque en programas de ciencia y tecnología.
- **Alternativa B: Municipios Aledaños (Chía y Cota).** Zona de alta densidad de colegios campestres de gran prestigio. Representa un mercado de alto impacto, pero con desafíos logísticos de transporte inter municipal.
- **Alternativa C: Bogotá - Eje Centro-Occidente (Teusaquillo, Chapinero).** Aunque tiene menos concentración de colegios objetivo, su principal ventaja es la proximidad al centro de operaciones del proyecto (cerca de la Universidad Distrital), lo que facilitaría la gestión diaria.

Método de Evaluación.

Se aplica el Método Cualitativo por Puntos, priorizando la afinidad de los colegios con la ciencia como el factor más crítico para asegurar el éxito inicial.

- **Concentración de Colegios Foco-Ciencia (Peso: 40 %):** La calificación se basa en la densidad de colegios privados de alto rendimiento académico y con perfiles bilingües o con énfasis en ciencias. Rankings como los de Sapiens Research (<https://www.srg.com.co/>) y directorios de colegios privados muestran una alta concentración de instituciones de este tipo en las localidades de Usaquén y Suba (Eje Norte), y en municipios como Chía. El centro de la ciudad tiene una menor densidad de este perfil específico.
- **Potencial de Visibilidad y Prestigio (Peso: 25 %):** Se califica la presencia de colegios “insignia” en cada zona, cuyo prestigio podría dar mayor visibilidad al proyecto. Los municipios aledaños (Chía) y el Eje Norte de Bogotá albergan muchos de los colegios con mejor reputación a nivel nacional.
- **Facilidad Logística y Tiempo de Viaje (Peso: 20 %):** La calificación se asigna de forma inversa al tiempo de desplazamiento promedio desde el centro de operaciones. Viajes al Eje Norte (Usaquén) pueden tardar entre 30-45 minutos en condiciones normales, mientras que los viajes a municipios como Chía pueden superar la hora, especialmente en picos de tráfico. El Eje Centro tiene la mejor logística por su proximidad.
- **Proximidad al Centro de Operaciones (U.D.) (Peso: 15 %):** Este factor es una consecuencia directa del anterior. La zona Centro recibe la máxima calificación por ser la sede del equipo, mientras que los municipios aledaños reciben la más baja por la distancia y tiempos de viaje.

El resultado del análisis cuantitativo muestra que la zona de Bogotá - Eje Norte (Alternativa A) obtiene la puntuación más alta (7.90). Aunque el Eje Centro-Occidente ofrece una logística superior por su cercanía al centro de operaciones, la alta concentración de colegios con el perfil exacto que busca el proyecto en el Eje Norte es el factor determinante. Esta zona ofrece el mejor balance entre acceso a un mercado ideal y una logística manejable.

Cuadro 5.2 Matriz de Evaluación de Macrolocalización por Zonas de Influencia.

Factor	Peso	A: Bogotá - Eje Norte		B: Municipios Aledaños		C: Bogotá - Centro	
		Calif. (0-10)	Pond.	Calif. (0-10)	Pond.	Calif. (0-10)	Pond.
Concentración de Colegios Foco-Ciencia	40 %	9	3.60	8	3.20	6	2.40
Potencial de Visibilidad y Prestigio	25 %	8	2.00	9	2.25	7	1.75
Facilidad Logística y Menor Tiempo de Viaje	20 %	7	1.40	5	1.00	9	1.80
Proximidad al Centro de Operaciones (U.D.)	15 %	6	0.90	4	0.60	10	1.50
PUNTUACIÓN TOTAL	100 %	7.90		7.05		7.45	

5.2.2. Fase 2: Microlocalización y Selección del Clúster Piloto

Habiendo seleccionado el Eje Norte de Bogotá como la zona estratégica, la microlocalización consiste en identificar un clúster de 3 colegios geográficamente cercanos y con perfiles de alto potencial para la implementación del primer año. Para ello, se realiza una evaluación cuantitativa de un grupo de colegios candidatos.

Se ha seleccionado un grupo de cinco colegios de alto perfil, todos ubicados en el Eje Norte (Usaquén y Suba). La selección de este grupo se justifica por:

- **Coherencia Geográfica:** Todos se encuentran en la zona de interés, lo que permite optimizar la logística y el soporte.
- **Afinidad Científica:** Muestran evidencia, ya sea por infraestructura, programas existentes (como semilleros) o por su alta reputación académica, de ser un terreno fértil para un proyecto de innovación en ciencias.
- **Alto Potencial de Impacto:** Son instituciones reconocidas, lo que asegura que un caso de éxito en cualquiera de ellas tendrá una gran visibilidad y servirá como un sólido precedente para la expansión del proyecto.

Los cinco colegios preseleccionados para la evaluación son: Colegio Calasanz, Colegio Bilingüe Maximino Poitiers, Colegio San Viator [34], Liceo de Cervantes [35] y Colegio Abraham Lincoln [36].

Método de Evaluación Cuantitativa.

Se aplica el Método Cualitativo por Puntos para evaluar y priorizar a los colegios candidatos. Los factores se ponderan según su importancia para asegurar el éxito de la fase piloto del proyecto.

Cuadro 5.3 Matriz de Evaluación de Microlocalización (Selección de Colegios).

Factor	Peso	Calasanz		M. Poitiers		San Viator		Cervantes		A. Lincoln	
		Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.
Evidencia de Foco en Ciencias	40 %	10	4.00	7	2.80	8	3.20	8	3.20	8	3.20
Reputación y Visibilidad	25 %	8	2.00	8	2.00	9	2.25	10	2.50	9	2.25
Receptividad Institucional (Est.)	20 %	9	1.80	7	1.40	8	1.60	8	1.60	8	1.60
Ubicación y Facilidad Logística	15 %	8	1.20	9	1.35	8	1.20	7	1.05	7	1.05
PUNTUACIÓN TOTAL	100 %	9.00		7.55		8.25		8.35		8.10	

De este modo, la estrategia de localización y selección de aliados queda definida por los resultados del análisis. Se establece como área de enfoque principal el Eje Norte de Bogotá. El ranking cuantitativo permite identificar a los tres colegios con mayor puntuación para conformar el clúster piloto. Los seleccionados son:

1. **Colegio Calasanz (Puntaje: 9.00):** La existencia de un “Semillero de Astronomía” activo le otorga la máxima calificación en el factor más importante (Foco en Ciencias), posicionándolo como el candidato ideal.
2. **Liceo de Cervantes (Puntaje: 8.35):** Su altísima reputación académica y visibilidad a nivel nacional lo convierten en un socio estratégico de gran impacto.
3. **Colegio San Viator (Puntaje: 8.25):** Su prestigio y sólida trayectoria académica en la zona norte garantizan un entorno de excelencia y alta receptividad para el proyecto.

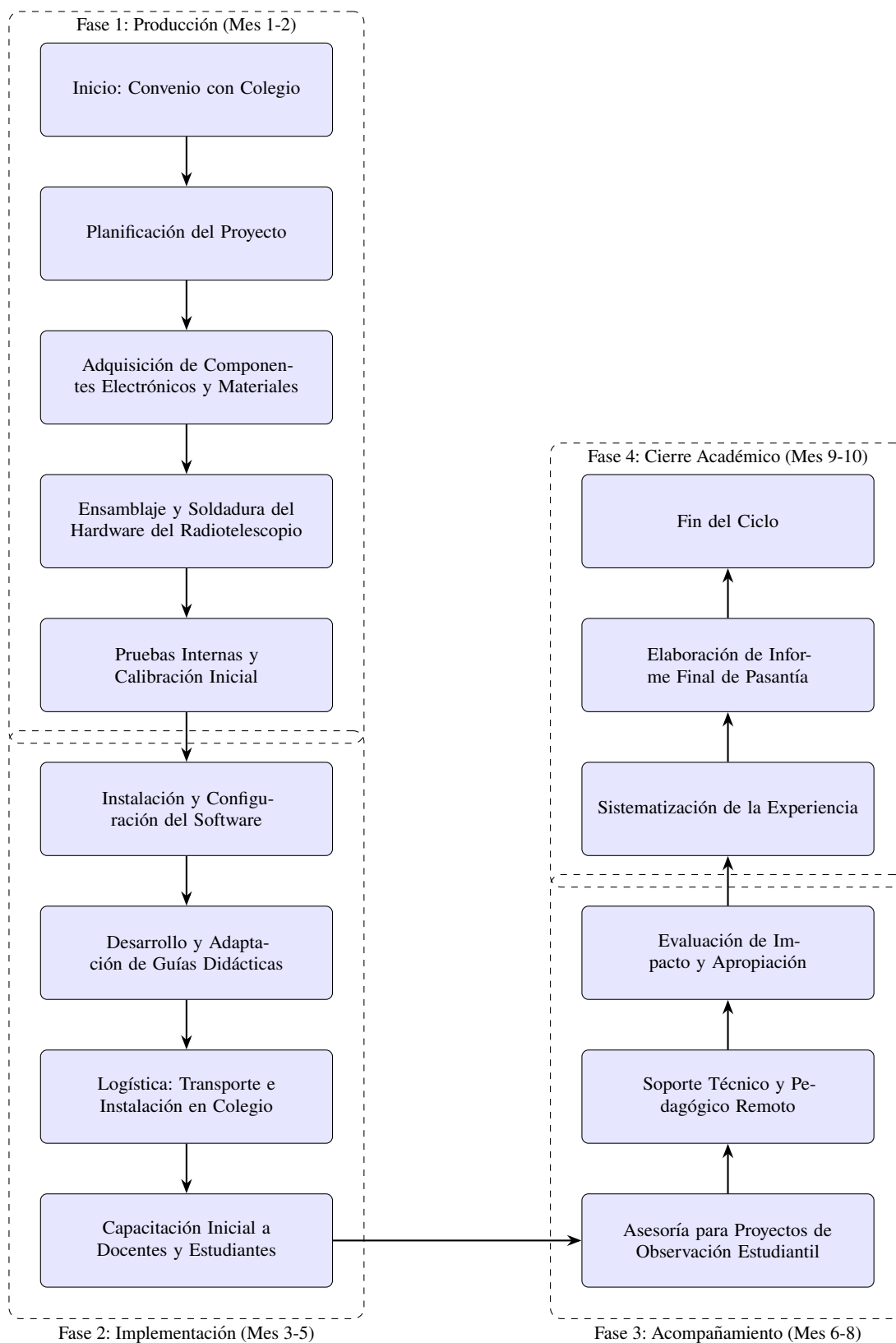
Este enfoque dual permite concentrar los esfuerzos, optimizar la logística y maximizar las probabilidades de éxito al colaborar con las instituciones mejor preparadas y más afines a los objetivos del proyecto.

5.3. Proceso de Producción

En esta sección se detalla el conjunto de actividades, recursos y procedimientos necesarios para llevar a cabo la producción e implementación del producto-servicio, que consiste en un radiotelescopio educativo y el acompañamiento pedagógico asociado. El proceso se ha diseñado para ser eficiente, escalable y garantizar un alto estándar de calidad en cada entrega.

5.3.1. Diagrama de Flujo del Proceso

El proceso completo, desde la planificación inicial hasta el cierre del proyecto con cada colegio, se puede representar mediante el siguiente diagrama de flujo. Este abarca tanto las fases de producción del hardware como las de implementación y soporte pedagógico, reflejando la naturaleza integral del servicio.

**Figura 5.1** Flujo del proceso integral con diseño en U.

5.3.2. Tabla de Insumos y Materiales

A continuación, se detallan los insumos necesarios para la producción de **una (1) unidad** de radiotelescopio y su correspondiente material pedagógico.

Cuadro 5.4: Tabla de Insumos y Materiales por Unidad.

Categoría	Insumo/Material	Cant.	Costo Est. (COP)
Comp. Electrónicos	Antena parabólica (reacondicionada)	1	\$50.000
	LNB (Low-Noise Block)	1	\$40.000
	RTL-SDR Dongle	1	\$150.000
	Raspberry Pi 4 (o sup.)	1	\$250.000
	Tarjeta MicroSD (32 GB)	1	\$30.000
	Cables coaxiales y conectores	Varios	\$25.000
	Fuente de alimentación (5V, 3A)	1	\$35.000
Mat. Estructurales	Trípode o base de soporte	1	\$70.000
	Caja protectora (intemperie)	1	\$20.000
	Tornillería y herrajes	Varios	\$15.000
Mat. Pedagógico	Impresión de guías y manuales	1 kit	\$45.000
	Material para talleres	1 set	\$20.000
Software	S.O. para Raspberry Pi	1	\$0
	Software de radioastronomía	1	\$0
Subtotal Insumos			\$750.000

Nota: Los costos son estimaciones y pueden variar. El costo total se alinea con el precio de venta de \$800.000, dejando un margen para logística, soporte y gastos administrativos.

5.3.3. Tabla de Recursos Humanos

El talento humano es el recurso más crítico del proyecto. La siguiente tabla describe los roles y la dedicación necesaria.

Cuadro 5.5: Tabla de Recursos Humanos.

Rol	Perfil Requerido	Dedicación	Responsabilidades
Pasante	Estudiante de últimos semestres de Ing., Física o afines.	600h (10 meses) por implementación.	Liderar todo el ciclo: producción, instalación, capacitación, soporte y documentación.

Continúa en la siguiente página

Cuadro 5.5 – continuación

Rol	Perfil Requerido	Dedicación	Responsabilidades
Tutor Académico	Docente U.D. con experiencia en proyectos STEM.	2-4 h/semana.	Supervisar el rigor académico y técnico. Facilitar recursos. Evaluar informe final.
Coordinador	Profesional con experiencia en gestión de proyectos.	4-6 h/semana.	Gestionar relación con colegios, asegurar calidad y logística. Buscar nuevas alianzas.
Docente Contacto	Docente de ciencias o tecnología del colegio.	Variable.	Ser el punto de contacto, coordinar estudiantes y actuar como multiplicador del conocimiento.

5.3.4. Tabla de Maquinaria y Equipo

La tecnología del proyecto no requiere maquinaria industrial. El equipo necesario es para ensamblaje y pruebas.

Cuadro 5.6: Tabla de Maquinaria y Equipo.

Tipo	Descripción	Uso y Ubicación
Herram. Taller	Cautín, multímetro, alicates, destornilladores.	Ensamblaje electrónico. Ubic: Laboratorio U.D. / Proyecto.
Equipo Cómputo	Computador portátil.	Programación, análisis de datos, informes. Ubic: Pasante / Proyecto.
Equipo Pruebas	Osciloscopio, generador de señales (opcional).	Calibración y verificación del receptor. Ubic: Laboratorio U.D.
Transporte	Automóvil o servicio contratado.	Traslado de equipo y personal para instalación. Ubic: Pasante / Contratado.

Referencias

1. Wilson, T. L., Rohlfs, K. y Hüttemeister, S. *Tools of Radio Astronomy* 6.^a ed. ISBN: 978-3-642-39949-7 (Springer, 2013).

2. Ordoñez Toro, N. J. *Construcción de un radiotelescopio de 83 centímetros de diámetro en la banda de 12 gigahercios en el Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño* Trabajo de grado (Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física, 2018).
3. Al Universo, V. *Ondas de Radio* Blog sitio web. Consultado el 6 de abril de 2025. https://www.windows2universe.org/spanish/teacher_resources/radio_waves.html.
4. Kraus, J. D. *Antennas for all applications* <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA54605392> (dic. de 1950).
5. Thapelo, T. S., Namoshe, M., Matsebe, O., Motshegwa, T. y Bopape, M.-J. M. SASSCAL WebSAPI: A Web Scraping Application Programming Interface to Support Access to SASSCAL's Weather Data. *Data Science Journal* **20**. ISSN: 1683-1470 (2021).
6. Arduino. *About Arduino* Arduino. <https://www.arduino.cc/en/about/> (2025).
7. Horowitz, P., Hill, W. y Rollefson, R. J. The art of electronics. *American Journal of Physics* **58**, 702-703 (jul. de 1990).
8. (ITU), I. T. U. *ITU: Committed to connecting the world* <https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>.
9. Menor Adame, D. *Diseño de un radiotelescopio de bajo coste basado en tecnologías de radio definida por software* No Publicado. Madrid, dic. de 2018. <https://oa.upm.es/55238/>.
10. Vaquerizo, J. Á. *PARTNeR: Radioastronomía desde el aula* Consultado el 30 de marzo de 2025. <https://www.madrimasd.org/partner-radioastronomia-desde-aula>.
11. Para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología, A. I. INAOE, BUAP y Victorinox México firman convenio de colaboración para construir telescopios para escuelas. *Ciencias Sociales México*. Consultado el 30 de marzo de 2025. <https://www.dicyt.com/noticias/inaoe-buap-y-victorinox-mexico-firman-convenio-de-colaboracion-para-construir-telescopios-para-escuelas> (21 de sep. de 2011).
12. Boletines BUAP. Del Aula al Universo, un telescopio para cada escuela, un programa que acerca los astros a los jóvenes. *Boletines BUAP*. Consultado el 30 de marzo de 2025. <https://www.boletin.buap.mx/node/1971> (abr. de 2021).
13. C., A. L., G., G. D., F., S. A. C. y Fragoso, G. G. *Manual de Construcción de un Radiotelescopio en la Banda de 12 GHz para Usos Docentes* Reporte Técnico. © Coordinación de Astrofísica, INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), Luis Enrique Erro 1, Sta. Ma. Tonantzintla, 72840, Puebla, México, 2021).
14. Gallardo, J., Toledo, I. y Torres, P. *Manual de Radioastronomía ALMA en la Escuela* inf. téc. Basado en “El Universo Invisible” de Universe Awareness (UNAWA) y “Explorando nuestros orígenes cósmicos” del Observatorio Europeo Austral (ESO). Traducción al español por Ney Fernández y la Unidad de Astronomía de la Universidad de Antofagasta. (2021). https://www.eso.org/public/archives/education/pdf/edu_0071.pdf.
15. Peñaloza, J. P. y Bernal, J. C. C. *Construcción de un radiotelescopio pequeño para la exploración solar en centros de interés* Trabajo de grado (Universidad Pedagógica Nacional, 2023).
16. Anzola, B. M. et al. *Construcción de un radiotelescopio para analizar el Sol en la banda de 12GHz* en *Congreso Colombiano de Astronomía y Astrofísica* Presentado en el Congreso Colombiano de Astronomía y Astrofísica, 2024 (2024).
17. Nacional, M. D. E. y Fonseca, J. F. *Listado Colegios Bogota — Datos abiertos Colombia* <https://www.datos.gov.co/d/qijw-htwa> (2025).
18. Colegio Abraham Maslow. *Reconocimientos del Colegio Abraham Maslow* <https://colegiomaslow.edu.co/reconocimientos/>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2019.

19. Colegio Empresarial Los Andes. *Observatorio Astronómico Astroandes* <https://colegioempresarial.edu.co/observatorio-astronomico/>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2025.
20. Colegio Padre Manyanet Bogotá. *Observatorio Astronómico "La estrella de Belén"* <https://www.manyanetbog.edu.co/astronomia>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2025.
21. Colegio Calasanz Bogotá. *Semillero de Astronomía* <https://ccb.edu.co/semillero-de-astronomia/>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2024.
22. Gimnasio Bilingüe Campestre Marie Curie. *Gimnasio Bilingüe Campestre Marie Curie* <https://gimnasiomariecurie.edu.co/gbcmc/>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2025.
23. Universidad Sergio Arboleda. *AstroFest: un evento para acercar a los estudiantes de colegio a las ciencias exactas y la astronomía* <https://www.usergioarboleda.edu.co/noticias/astrofest-un-evento-para-acercar-a-los-estudiantes-de-colegio-a-las-ciencias-exactas-y-la-astronomia/>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2023.
24. Liceo Campestre Cafam. *Liceo Campestre Cafam* <https://www.portalliceo.com/index.php>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2025.
25. Colegio Bilingüe Maximino Poitiers. *Colegio Bilingüe Maximino Poitiers* <https://losmejorescolegios.com/co/colegio/colegio-bilingue-maximino-poitiers-bogota/>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2025.
26. Colegio Nuestra Señora de la Sabiduría. *Colegio Nuestra Señora de la Sabiduría* <https://colsabibogota.edu.co/>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2025.
27. Colegio Agustiniiano Tagaste. *Colegio Agustiniiano Tagaste* <https://www.agustinianotagaste.edu.co/>. Consultado el 17 de mayo de 2025. 2025.
28. Secretaría de Educación de Bogotá. *Secretaría de Educación de Bogotá* Consultado el 17 de mayo de 2025. 2025. <https://www.educacionbogota.edu.co/>.
29. Secretaría de Educación de Bogotá. *La astronomía llegó este año a 21 mil estudiantes de colegios oficiales de Bogotá* Consultado el 17 de mayo de 2025. 2023. https://www.educacionbogota.edu.co/portal_institucional/index.php/noticia/la-astronomia-llego-este-ano-21-mil-estudiantes-de-colegios-oficiales-de-bogota.
30. Agencia Distrital para la Educación Superior, la Ciencia y la Tecnología - Atenea. *Bogotá Científica* Consultado el 17 de mayo de 2025. 2024. <https://www.agenciaatenea.gov.co/gerencia-cte-ciencia-tecnologia-e-innovacion/bogota-cientifica>.
31. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación - Minciencias. *Donaciones para proyectos científicos y de apropiación social del conocimiento* Consultado el 17 de mayo de 2025. <https://minciencias.gov.co/donaciones>.
32. Red Colombiana de Astronomía (RECA). *La astronomía va a tu colegio* Consultado el 17 de mayo de 2025. <https://www.astroreca.org/colegios>.
33. Consejo Académico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Acuerdo N° 012 (Diciembre 13 de 2022): "Por el cual se reglamenta el trabajo de grado para los programas de nivel tecnológico y nivel profesional (pregrado) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas* Disponible en línea en los archivos institucionales o normativas académicas. Dic. de 2022.
34. Colegio San Viator Bogotá. *Colegio San Viator Bogotá* Sitio web consultado en julio de 2025. <https://sanviator.edu.co/es/>.
35. Liceo Cervantes Bogotá. *Enfoque Pedagógico - Propuesta Pedagógica* Sitio web consultado en julio de 2025. <https://liceocervantes.edu.co/propuesta-pedagogica/enfoque-pedagogico/>.
36. Colegio Abraham Lincoln Bogotá. *Nuestro Horizonte Institucional 2022–2023* Sitio web consultado en julio de 2025. <https://abrahamlincoln.edu.co/nuestro-horizonte-institucional-2022-2023/>.