

# Plan de Innovación en Detección Temprana de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá

Autora: Valeria de los Ángeles  
González Saggia

Tutora: María del Mar Viñas

Julio de 2023

Trabajo Final de Máster

Máster en Creación y Gestión de Empresas  
Innovadoras y de Base Tecnológica

Facultad de Economía y Empresa

Universidad de Barcelona

## **Agradecimientos**

A mi Tutora por su valiosa guía y acompañamiento durante la redacción del presente trabajo.

A mis profesores y compañeros de Máster, por ser parte de mi pilar profesional y por haber hecho de esta experiencia una etapa memorable en mi formación académica.

Al personal de la Entidad Binacional Yacyretá por su buena predisposición y colaboración para la realización del proyecto.

A mi familia, por su apoyo incondicional, paciencia y el amor infinito que me han brindado siempre.

## RESUMEN

Los incendios forestales constituyen un desafío actual a nivel global que continuará agravándose en las próximas décadas. Ante esta situación, autoridades ambientales internacionales subrayan la importancia de invertir en medidas de prevención y detección temprana.

El presente trabajo se desarrolla con objeto de fortalecer la gestión de los mismos en la Isla Yacyretá, Paraguay y minimizar sus impactos negativos, mediante la elaboración de un Plan de Innovación en detección temprana que permita aumentar la capacidad de vigilancia y optimizar la respuesta de los equipos encargados.

La Entidad Binacional Yacyretá, organización internacional conformada por los gobiernos de Argentina y Paraguay, es la responsable de la gestión de la isla debido a que en ella se encuentra la Central Hidroeléctrica Yacyretá, que transforma la energía hídrica proveniente del Río Paraná, compartido entre ambos países, en energía eléctrica. Dentro de la isla además se encuentra la Reserva Natural Yacyretá, que alberga especies de fauna y flora nativas, muchas de ellas en peligro de extinción.

Registros históricos señalan que los incendios forestales en la región son frecuentemente ocasionados por acción humana, amenazando las instalaciones de la central y la biodiversidad de la isla. Factores climatológicos como fuertes vientos y bajos niveles de humedad facilitan la rápida propagación del fuego, mientras que la falta de instrumentos de detección temprana, limitaciones en equipamientos de combate y características irregulares propias del terreno dificultan significativamente la respuesta del personal encargado.

La solución propuesta contempla la innovación mediante la implementación de tecnología, aprovechando la infraestructura existente en la isla y la capacidad técnica del personal, para incorporar cámaras de vigilancia con detectores de humo y sistemas de alerta que aumenten la supervisión de la zona y proporcionen a los equipos encargados un conocimiento temprano de la aparición del fuego.

De esta manera, se pretende contribuir en hasta un 30% en la gestión de los incendios forestales, mediante la agilización de la respuesta por parte de los equipos de emergencia para minimizar los riesgos de propagación y facilitar su control y extinción, reduciendo las consecuencias asociadas y fomentando la preservación del entorno natural y la protección de la central hidroeléctrica.

**Palabras clave:** incendios forestales, innovación, tecnología, detección temprana, cámaras de vigilancia, detectores de humo, alertas, Isla Yacyretá, Entidad Binacional Yacyretá

## ABSTRACT

Forestry, bush fires constitute an issue, a challenge on a global scale which will continue aggravating itself further the following decades. Given this situation, environmental international authorities underscore the substantial importance of investing, developing contingency measures aimed at preventing, detecting early points of origin.

This thesis has been worked upon the objective of strengthening, enhancing the management of said protective measures on the Yacyreta Island, Paraguay to minimise its negative impacts by means of elaborating an Innovation Plan for early detection which will allow increasement of surveillance capabilities as well as optimising operative response of the assigned teams.

The Yacyreta Binational Entity, international organisation conformed by the governments of Argentina and Paraguay respectively is the sole responsible of the management of the island, since in it lies the Yacyreta Hydroelectric Power Station, which converts the hydraulic energy from the Paraná River, shared between both countries, into electrical energy. Furthermore, within the confines of the island resides the Yacyretá Natural Reserve, harbouring numerous native wildlife species, many of whom are in vulnerable conservation status.

Historical records point to regional bushfires being frequently started by human action, threatening the facilities of the dam and biodiversity on the island. Weather factors such as strong winds and low humidity levels also instigate easier propagation of the fires, while lack of early warning tools, limited fire engine equipment, even the natural irregularities of the terrain significantly hinder effective response.

The proposed solution includes implementing technology, and through innovation, capitalising on existing infrastructure, technical capabilities of the personnel to incorporate surveillance cameras with built in smoke detectors and warning systems to enhance supervision of different areas whilst providing response teams an earlier knowledge of fire occurrence.

In this manner, it is expected to contribute up to 30% in the management of forest fires, by expediting the response from emergency teams, minimising risks of bushfire propagation, facilitating their control, submission, extinction; significantly reducing collateral consequences, whilst fomenting preservation of natural ecosystems and protection of the hydroelectric dam.

**Key Words:** bushfires, innovation, technology, early detection, surveillance cameras, smoke detectors, alerts, Yacyreta Island, Yacyreta Binational Entity



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. La Isla Yacyretá.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. Los incendios forestales en Paraguay.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>11</b>
<i>1.3.1. Objetivo General.....</i>	<i>11</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>11</i>
<b>II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>III. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Análisis de la gestión de incendios forestales en la Isla Yacyretá.....</b>	<b>12</b>
<i>3.1.1. Registros históricos.....</i>	<i>12</i>
<i>3.1.2. La gestión de incendios en la isla en la actualidad.....</i>	<i>13</i>
<i>3.1.3. Principales desafíos.....</i>	<i>15</i>
<b>3.2. Tecnologías de Detección Temprana en el mundo.....</b>	<b>16</b>
<i>3.2.1. Medidas preventivas.....</i>	<i>16</i>
<i>3.2.2. Cámaras de Vigilancia.....</i>	<i>17</i>
<i>3.2.3. Vigilancia Aérea y Satelital.....</i>	<i>18</i>
<i>3.2.4. Sensores.....</i>	<i>18</i>
<i>3.2.5. Tecnologías de Inteligencia Artificial.....</i>	<i>19</i>
<i>3.2.6. Ejemplos internacionales.....</i>	<i>20</i>
<b>3.3. Alternativas para la Isla Yacyretá.....</b>	<b>21</b>
<b>IV. SOLUCIÓN PARA LA ISLA YACYRETÁ.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Objetivos del Plan de Innovación para la Detección Temprana de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2. Análisis DAFO del actual sistema de gestión de incendios forestales.....</b>	<b>23</b>
<b>4.3. Modelo de innovación para la Isla Yacyretá.....</b>	<b>24</b>
<i>4.3.1. Diagnóstico del actual del sistema de gestión de incendios forestales.....</i>	<i>24</i>
<i>4.3.2. Propuesta de Solución para la Detección Temprana de Incendios Forestales...25</i>	<i>25</i>
<i>4.3.3. Consideraciones generales.....</i>	<i>28</i>
<i>4.3.4. Principales retos.....</i>	<i>28</i>
<i>4.3.5. Ideas complementarias.....</i>	<i>29</i>
<b>4.4. Diseño y Planificación.....</b>	<b>30</b>
<i>4.4.1. Cronograma de actividades.....</i>	<i>30</i>
<i>4.4.2. Estimación de la inversión.....</i>	<i>32</i>

4.4.3. Resultados esperados.....	34
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>45</b>
Anexo 1. Ubicación Geográfica y Zonificación de la Isla Yacyretá.....	45
Anexo 2. Fotografías de la Isla Yacyretá.....	46
Anexo 3. Registros Climatológicos.....	48
Anexo 4. Entrevista con el Responsable de Coordinación Logística y Contingencia Ambiental de la EBY, Paraguay - Lic. José Mutti.....	50
Anexo 5. Entrevista con el Jefe Técnico de Seguridad Industrial en la Isla Yacyretá, Paraguay - Ing. José Ruíz Díaz.....	51
Anexo 6. Entrevista con el Comandante de División de Bomberos en Ciudad del Cabo, Sudáfrica - Steve Abrahamse.....	52
Anexo 7. Tecnologías afines.....	54
Anexo 8. Mapa de áreas inundadas para la construcción del Embalse Yacyretá.....	57
Anexo 9. Mapa de áreas afectadas por incendio en noviembre de 2020 en la Isla Yacyretá.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la Isla Yacyretá y esquema de la central hidroeléctrica.....	9
Figura 2. Registro de Incendios por año en la Isla Yacyretá.....	12
Figura 3. Análisis DAFO del Sistema de Gestión de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá en la actualidad.....	23
Figura 4. Modelo de Innovación aplicado al Sistema de Gestión de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá.....	24
Figura 5. Esquema de funcionamiento y características del actual del Sistema de Gestión de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá.....	24
Figura 6. Innovación en el Sistema de Gestión de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá....	25
Figura 7. Principales elementos de la Propuesta de Innovación para la Isla Yacyretá.....	26
Figura 8. Cronograma de actividades para la implementación del Plan de Innovación.....	30
Figura 9. Roadmap para la implementación del Plan de Innovación.....	32
Figura 10. Estimación de la inversión.....	32
Figura 11: Ubicación geográfica de la Isla Yacyretá.....	45
Figura 12: Zonificación de la Isla Yacyretá.....	45
Figura 13: Vertedero y presa de tierra en la Isla Yacyretá.....	46
Figura 14: Embalse, ruta internacional y presa de tierra en la Isla Yacyretá.....	46
Figura 15: Presa de tierra en la Isla Yacyretá.....	47
Figura 16: Incendios en la Reserva Natural Yacyretá.....	47
Figura 17: Total de incendios activos detectados por satélite en cada mes en Paraguay desde 1998 hasta Mayo 2023.....	48
Figura 18: Temperaturas máximas registradas por mes en el Departamento de Misiones, Paraguay (2019-2022).....	49
Figura 19: Cámara de la serie <i>AXIS PTZ Outdoor Network Surveillance Camera</i> .....	54
Figura 20: Implementación de cámaras de vigilancia en California.....	54
Figura 21: Implementación de cámaras de vigilancia <i>FLIR Triton™ PT-Series HD</i> en Puglia, Italia.....	55
Figura 22: Cámara de vigilancia <i>Dahua</i> de la serie <i>Bullet 4G Solar Power Network</i> .....	56
Figura 23: Mapa de áreas inundadas para la construcción del embalse Yacyretá.....	57
Figura 24: Mapa de áreas afectadas por incendio en noviembre de 2020 en la Isla Yacyretá..	58

## LISTA DE ABREVIATURAS

- EBY:** Entidad Binacional Yacyretá
- CHY:** Central Hidroeléctrica Yacyretá
- RNY:** Reserva Natural Yacyretá
- CBVP:** Cuerpo de Bomberos Voluntarios del Paraguay
- PNUMA:** Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
- MADES:** Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (Paraguay)
- SEN:** Secretaría de Emergencia Nacional (Paraguay)
- INFONA:** Instituto Forestal Nacional (Paraguay)
- DINAC:** Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (Paraguay)
- DMH:** Dirección de Meteorología e Hidrología (Paraguay)
- INPE:** Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Brasil)
- NASA:** *National Aeronautics and Space Administration (E.E.U.U.)*
- WSN:** *Wireless Sensor Networks*
- FUEGO:** *Fire Urgency Estimator in Geostationary Orbit*
- DAFO:** Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades
- API:** Interfaz de Programación de Aplicaciones
- USD:** Dólar estadounidense

# I. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen uno de los principales desafíos del siglo XXI. Según un informe de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 2022, los mismos serán cada vez más frecuentes e intensos, previendo un aumento del 30% para el 2050 y más de un 50% para fin de siglo. El PNUMA además subraya que los incendios forestales y el cambio climático se retroalimentan, ya que el aumento de la sequía, las altas temperaturas, la baja humedad y los fuertes vientos dan lugar a temporadas de incendios más secas y prolongadas, mientras que el cambio climático, a su vez, se ve agravado por la destrucción de los ecosistemas que equilibran el clima, como consecuencia de los incendios forestales. Ante esta situación, se destaca la necesidad de enfocarse en medidas preventivas y de detección temprana, en lugar de centrar los esfuerzos en actividades de combate y extinción.<sup>1</sup>

La Entidad Binacional Yacyretá es una organización conformada por los gobiernos de Argentina y Paraguay, y comprende un conjunto de obras civiles cuya actividad principal es la transformación de la energía hídrica en energía eléctrica para el abastecimiento de un porcentaje significativo de la demanda eléctrica de ambos países, por lo que constituye un importante contribuyente en su desarrollo económico. En la Isla Yacyretá se encuentra la represa hidroeléctrica principal, construida entre los años 1980 y 1990, con objeto de aprovechar el potencial energético del Río Paraná, compartido entre ambos países y segundo río más largo de Sudamérica, después del Amazonas.<sup>2</sup>

En la actualidad, la Isla Yacyretá es víctima de frecuentes incendios forestales que acarrearán implicaciones económicas, sociales y ambientales significativas. Entre ellas, se incluye la pérdida de hábitats naturales y especies nativas, además de representar un riesgo significativo para la central hidroeléctrica debido a su proximidad a la vegetación circundante. Este trabajo contempla la innovación del sistema de gestión contra incendios forestales específicamente en la Isla Yacyretá, a través del aprovechamiento de la tecnología como un agente colaborador en la preservación del medio ambiente e infraestructura existentes.

A continuación, se exponen brevemente los temas abordados en el presente estudio.

## 1.1. La Isla Yacyretá

Con una extensión de 8.345 hectáreas<sup>3</sup> y con la finalidad principal de albergar la infraestructura relacionada a la central hidroeléctrica de la Entidad Binacional Yacyretá y facilitar su operación y mantenimiento, la isla se encuentra bajo la administración de la EBY, y la energía generada en la misma constituye una fuente importante de electricidad para

---

<sup>1</sup> United Nations News. (2022, 23 de febrero). *Los incendios forestales aumentarán un 30% para 2050 y un 50% para fin de siglo debido a la crisis climática*. Recuperado el 30 de marzo de 2023 de <https://news.un.org/es/story/2022/02/1504472>

<sup>2</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Historia*. Recuperado el 19 de Mayo de 2023 de <https://www.eby.gov.py/historia-2/>

<sup>3</sup> Mutti, J. R. (2017). *Propuesta de un plan de manejo del fuego en la Reserva Natural Yacyretá, Distrito de San Cosme y Damián, Dpto. Itapúa*. (Tesis de licenciatura en Ciencias Ambientales). Universidad Técnica de Comercialización y Desarrollo. Ayolas, Paraguay.

ambos países. La isla está ubicada entre los departamentos de Misiones e Itapúa en Paraguay, 2 kilómetros aguas abajo de los rápidos de Apipé, aproximadamente a 80 kilómetros al oeste de las ciudades de Encarnación (Paraguay) y Posadas (Argentina), a 300 kilómetros al sudeste de Asunción y a 1.000 kilómetros al norte de Buenos Aires.<sup>4</sup>



Fuente: Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). Historia. Recuperado el 23 de Mayo de 2023 <https://www.eby.org.ar/historia/>

Figura 1. Localización de la Isla Yacyretá y esquema de la central hidroeléctrica

El nombre de Yacyretá proviene del idioma nativo guaraní, segundo idioma oficial del Paraguay además del castellano, y posee un doble significado etimológico donde: “y” significa agua; “asy” difícil y “retã” lugar; traduciéndose como el “lugar de las aguas difíciles”, por la dificultad de navegación que presentaba el Río Paraná debido a sus saltos y correderas de agua. El segundo significado proviene de “yasy” que significa luna y “retã” que se traduce como lugar, y puede interpretarse como “el lugar donde brilla la luna”.<sup>5</sup>

En la isla también se encuentra la Reserva Natural Yacyretá, de aproximadamente 6.300 hectáreas<sup>6</sup>, que fue creada con objeto de compensar la pérdida de ecosistemas a consecuencia del llenado del embalse y preservar la biodiversidad de la región, albergando una variedad de especies de fauna y flora nativas, incluyendo algunas en peligro de extinción.

<sup>4</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). Historia. Recuperado el 19 de Mayo de 2023 de <https://www.eby.gov.py/historia-2/>

<sup>5</sup> Instituto Superior de Educación "Divina Esperanza" (I.S.E.D.E.). YACYRETÁ - PASADO, PRESENTE Y FUTURO. ENCARNACIÓN "La Ciudad de los Siete Puentes". (2008). Encarnación, Paraguay. Recuperado el 22 de Mayo de 2023 de [https://www.unae.edu.py/biblio/media/k2/attachments/Yacyreta\\_Pasado\\_Presente\\_y\\_Futuro.pdf](https://www.unae.edu.py/biblio/media/k2/attachments/Yacyreta_Pasado_Presente_y_Futuro.pdf)

<sup>6</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). Reservas y biodiversidad. Recuperado el 30 de Marzo de 2023 de <https://www.eby.gov.py/reservas-y-biodiversidad/>

Además, la isla aloja a una pequeña comunidad de alrededor de 1000 personas, en su mayoría familias de muy escasos recursos, que viven de la pesca artesanal o el turismo en la isla.<sup>7</sup> En el Anexo 1 de este documento se presenta información adicional sobre la ubicación geográfica y zonificación de la Isla Yacyretá.

## 1.2. Los incendios forestales en Paraguay

Los incendios forestales pueden definirse como fenómenos que ocurren en ecosistemas terrestres involucrando la combustión no controlada de vegetación en áreas boscosas, a causa de igniciones tanto de origen natural como antrópico junto con otros factores climáticos.<sup>8</sup> Si bien los incendios forestales históricamente han sido un componente natural de muchos ecosistemas, desempeñando un papel importante en la dinámica y regeneración de los bosques; en la actualidad, las acciones humanas han adquirido mayor influencia en el aumento y la frecuencia de los mismos, poniendo en peligro la vida humana y acarreando problemas ambientales y económicos.

Según datos del Plan Estratégico Nacional de manejo integrado del fuego en Paraguay, las causas más frecuentes de incendios forestales en el país se atribuyen a actividades humanas tanto accidentales como intencionales o negligentes, tales como las quemas sin precauciones en sistemas agropecuarios, fogatas abandonadas en campamentos de pescadores y cazadores furtivos, eliminación de residuos, mal manejo del fuego en áreas cercanas a caminos, desconocimiento de técnicas adecuadas por parte de la población, y falta de aplicación de medidas legales por parte de las autoridades.<sup>9</sup>

La gestión de incendios forestales en Paraguay se rige por diversas normativas legales, entre las cuales se destaca la Ley N° 4014 de Prevención y Control de Incendios, que determina la responsabilidad de las autoridades competentes y las medidas que deben ser adoptadas para prevenirlos, entre otras líneas generales para su control.<sup>10</sup> No obstante, el cumplimiento de dichas regulaciones se ve limitado debido a diversos factores que dificultan su implementación, tales como la insuficiencia de recursos financieros y técnicos y la falta de coordinación entre las instituciones encargadas. En ese sentido, para lograr una mejor prevención y gestión de los incendios forestales, se resalta la necesidad de contar con “una institución sólida y con recursos propios” según comentarios proporcionados por el Cap.

---

<sup>7</sup> Macrofinanzas. (2022, 15 de febrero). *EBY asegura la culminación de obras en beneficio de pobladores de la Isla Yacyretá*. Recuperado el 1 de junio de 2023 de

<https://www.macrofinanzas.com.py/eby-asegura-culminacion-obras-beneficio-pobladores-la-isla-yacyreta/>

<sup>8</sup> Pausas, J. G. (2012). *Incendios forestales: una visión desde la ecología*. Madrid: CSIC. Recuperado el 18 de Mayo de 2023 de <https://elibro-net.sire.ub.edu/es/ereader/craiub/216563?page=9>

<sup>9</sup> Rejalaga Noguera, L., Paez, H., Moriya R., et al. (2017). *Plan Estratégico Nacional de Manejo Integrado del Fuego del Paraguay (Periodo 2012-2017)*. Recuperado el 18 de Mayo de 2023 de <https://gfmc.online/wp-content/uploads/PENAMIF-Paraguay-2012-2016.pdf>

<sup>10</sup> Biblioteca y Archivo Central del Congreso de la Nación. (2015, 9 de julio). *Ley N° 4014 / De Prevención y Control de Incendios*. Recuperado el 18 de Mayo de 2023 de <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/3547/ley-n-4014-de-prevencion-y-control-de-incendios>

Rubén Valdez del CBVP, obtenidos a partir de noticias del MADES.<sup>11</sup>

Considerando específicamente la Isla Yacyretá, donde los incendios forestales además amenazan la central hidroeléctrica, como organismo encargado de la gestión de la zona, la EBY tiene la oportunidad de enfocarse en medidas preventivas y de detección temprana que aprovechen los avances tecnológicos para minimizar los riesgos de incendios forestales y su impacto, y cuenta con la autoridad para tomar decisiones que permitan proteger sus activos y garanticen la seguridad de sus operaciones.<sup>12</sup> Para ello, resulta fundamental invertir recursos financieros y técnicos en soluciones innovadoras para la gestión de incendios forestales en la isla, que contribuyan a la protección de su infraestructura y la conservación de la naturaleza.

Por todo lo expuesto y considerando la importancia de garantizar la seguridad de la infraestructura y la biodiversidad en la isla, además de los potenciales riesgos de daños irreparables que los incendios forestales representan, se considera necesario desarrollar un plan de innovación en el sistema de gestión de incendios forestales en la isla, que contemple una solución tecnológica que permita mejorar la detección temprana de incendios para agilizar la respuesta de los equipos de emergencia y minimizar los riesgos de propagación.

### **1.3. Objetivos**

#### *1.3.1. Objetivo General*

Elaborar un plan de innovación para la detección temprana de incendios forestales en la Isla Yacyretá mediante la implementación de tecnología, con el fin de promover una gestión eficiente de los mismos y minimizar los impactos negativos en la zona.

#### *1.3.2. Objetivos Específicos*

- Analizar el estado actual del sistema de gestión de incendios forestales en la Isla Yacyretá para identificar sus fortalezas y áreas de mejora en términos de detección temprana.
- Investigar tecnologías de detección temprana de incendios forestales a nivel global con el fin de seleccionar la alternativa más adecuada para la Isla Yacyretá.
- Diseñar un modelo de innovación para la detección temprana de incendios forestales en la Isla Yacyretá.

---

<sup>11</sup> Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020, 16 de octubre). *Conversación Interinstitucional sobre Incendios Forestales y Pastizales con Bomberos Voluntarios*. Recuperado el 22 de Mayo de 2023 de <https://www.mades.gov.py/2020/10/16/conversacion-interinstitucional-sobre-incendios-forestales-y-pastizales-con-bomberos-voluntarios/>

<sup>12</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (1973). *Tratado de Yacyretá y Normas Complementarias*. Recuperado el 23 de junio de 2023 de [https://www.eby.gov.py/archivos/tratado\\_de\\_yacyreta1.pdf](https://www.eby.gov.py/archivos/tratado_de_yacyreta1.pdf)



## II. METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo general y los objetivos específicos, el trabajo consta de 4 partes:

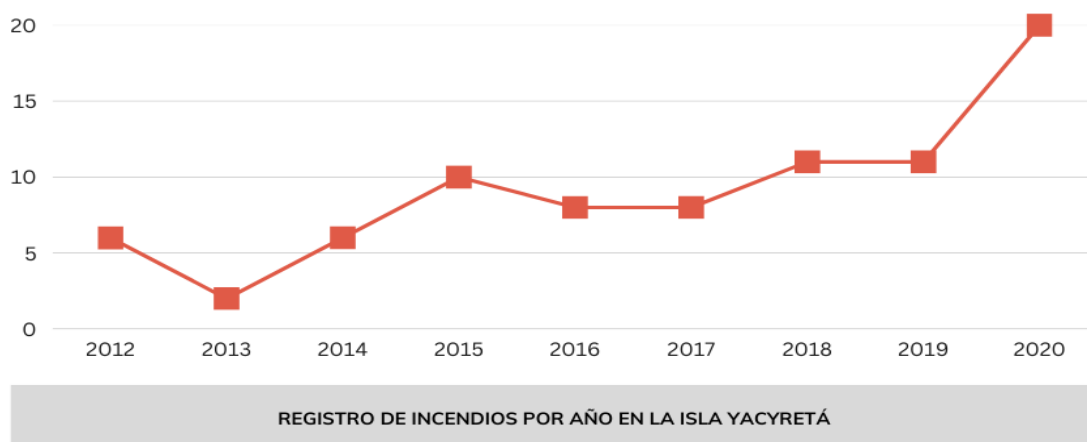
- a) un análisis del estado actual del sistema de gestión de incendios forestales en la Isla Yacyretá
- b) una investigación sobre tecnologías de detección temprana de incendios forestales implementadas en el mundo
- c) un breve análisis de las posibles alternativas para la detección temprana de incendios forestales aplicables en la Isla Yacyretá
- d) el diseño de una propuesta innovadora para la detección temprana de incendios forestales en la Isla Yacyretá

## III. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN

### 3.1. Análisis de la gestión de incendios forestales en la Isla Yacyretá

#### 3.1.1. Registros históricos

La obtención de información actualizada y precisa sobre datos estadísticos relacionados con los incendios forestales en la isla se ve limitada por la escasa disponibilidad de documentos y registros sobre éstos. No obstante, los datos recolectados permiten constatar que la ocurrencia de los incendios forestales en la Isla Yacyretá en los últimos años ha incrementado de manera significativa, tal como se muestra en la Figura 2. Esta gráfica presenta registros de incendios forestales recopilados por el personal de la EBY a lo largo de varios años y permite observar una tendencia ascendente en la evolución de esta problemática.<sup>13</sup>



*Fuente: Elaboración propia en base a registros provistos por personal de la Entidad Binacional Yacyretá*  
*Figura 2. Registro de Incendios por año en la Isla Yacyretá*

<sup>13</sup> Mutti, J. (s.f.) *Resumen de Incendios en las reservas naturales a cargo de la Entidad Binacional Yacyretá*. Recuperado el 6 de junio de 2023.

Otros informes recopilados demuestran una alta incidencia de incendios forestales de gran magnitud en la isla durante el mes de enero a través de los años. En Paraguay, este mes corresponde a la estación de verano, caracterizada por temperaturas muy elevadas que pueden favorecer la generación de incendios. En el Anexo 2 de este documento se presentan las temperaturas máximas obtenidas en los últimos años. Sin embargo, los registros históricos de incendios en la isla señalan que también han ocurrido en otras temporadas, como marzo (otoño), julio (invierno) y septiembre (primavera), lo que indica que los riesgos no se limitan únicamente a periodos estacionales determinados. En ese sentido, si bien existen diversos factores climáticos que al concurrir pueden propiciar el origen de incendios forestales, los informes de la EBY señalan que la mayoría de los incendios forestales registrados en la zona han sido originados por causas desconocidas, con características atribuibles a acciones humanas.<sup>14</sup>

Con respecto al combate de los incendios, los informes revelan una amplia variabilidad en los intervalos de tiempo transcurridos desde la detección hasta la extinción del fuego. Mientras que algunos incendios pudieron apagarse en tiempos relativamente cortos, otros han persistido por periodos prolongados y han requerido esfuerzos sostenidos significativos en términos de recursos humanos y equipamiento para su extinción. Factores como la magnitud del incendio en el momento de su detección, las condiciones climáticas, la accesibilidad del terreno y la disponibilidad de personal y equipos han desempeñado un papel crucial en la duración del combate. Uno de los últimos incendios de gran magnitud registrados, en enero del 2022, requirió el trabajo conjunto de más de un centenar de bomberos de diferentes cuarteles, quienes, según comentarios de representantes de la EBY, tuvieron que trabajar durante 13 días para evitar que el fuego se extendiera hacia las instalaciones de la central hidroeléctrica.<sup>15</sup>

Estos datos ponen en evidencia la necesidad de implementar medidas de detección temprana de incendios forestales que contribuyan a la minimización de riesgos de desbordamiento y descontrol del fuego mediante la agilización de la respuesta por parte de los equipos responsables, para proteger las obras civiles de la represa, preservar el valioso ecosistema de la isla y optimizar la labor del personal de extinción de incendios.

### *3.1.2. La gestión de incendios en la isla en la actualidad*

Los organismos de Seguridad Industrial y Coordinación Logística y Contingencia Ambiental son los responsables de la protección de las instalaciones civiles y de la gestión de los incendios forestales en la Isla Yacyretá, mientras que de la preservación de la Reserva Natural Yacyretá se encarga el Sector Medioambiente de la EBY. No obstante, la capacidad de

---

<sup>14</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (2012-2017). *Informes de Coordinación Logística y Contingencia Ambiental*. Recuperado el 9 de junio de 2023.

<sup>15</sup> La Nación. (2022, 23 de Enero). *Instalaciones de Yacyretá no corren riesgo por los incendios, aseguran*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://cdn-www.lanacionpy.arcpublishing.com/pais/2022/01/23/instalaciones-de-yacyreta-no-corren-riesgo-por-los-incendios-aseguran/>

estos departamentos para desempeñar su labor se ve comprometida debido al retraso en la adquisición de conocimiento sobre los incendios detectados, el equipamiento limitado y las importantes distancias que deben recorrer. Estos inconvenientes obstaculizan considerablemente una respuesta rápida ante el inicio de un incendio, factor fundamental para evitar que éste se convierta en un gran incendio forestal.

En ese sentido, cabe resaltar las limitaciones en términos de tecnología y capacidad de vigilancia a las que estos equipos se enfrentan para la detección temprana de incendios, además de contar con dificultades logísticas y técnicas para el control y combate de los mismos.<sup>16</sup> La ausencia de drones propios o cámaras de vigilancia dificultan en gran medida su capacidad para detectar y controlar el desarrollo de los incendios de manera efectiva, mientras que la utilización de datos de satélites provenientes de Brasil implica importantes retrasos hasta el conocimiento por parte del equipo sobre los incendios detectados. Por otro lado, la ubicación del cuartel de bomberos de la central hidroeléctrica detrás de la presa de tierra implica que el equipo no tiene una visibilidad clara del área circundante. Ello influye significativamente en su capacidad de respuesta, teniendo en cuenta que el tiempo es un factor crítico para el control y la extinción de los incendios forestales.

En la actualidad, como mecanismo preventivo para la protección de la infraestructura se ha completado la construcción de zanjas cortafuegos. Estas excavaciones del suelo de considerable anchura han sido ubicadas en áreas estratégicas y constituyen la única medida implementada para la protección de la central hidroeléctrica hasta la fecha. Además, recientemente los equipos recibieron autobombas tanque de agua que les permiten acceder al lago o embalse de la isla para disponer de un suministro del líquido, lo que supone un desarrollo alentador para el desempeño de las tareas de extinción.<sup>17</sup>

Adicionalmente, los organismos de la EBY pueden solicitar apoyo a equipos de la Compañía de Bomberos Voluntarios del Paraguay (CBVP) – Primera Compañía Departamental de Ayolas, Misiones. Esta dotación cuenta con una vida institucional de alrededor de apenas 20 años y ha desempeñado sus labores con mucho esfuerzo gracias a donaciones recibidas, pues al tratarse de una comunidad muy alejada de la capital, el equipamiento e infraestructura constituyen su principal desafío.<sup>18</sup> En ocasiones de emergencias de incendios forestales graves, pedidos de auxilio han incluido el préstamo de drones con intención de controlar la extensión de los incendios, la contratación de equipos adicionales de combate al fuego y la asistencia por parte de divisiones de ciudades cercanas,

---

<sup>16</sup> Mutti, J. R. (2017). *Propuesta de un plan de manejo del fuego en la Reserva Natural Yacyretá, Distrito de San Cosme y Damián, Dpto. Itapúa*. (Tesis de licenciatura en Ciencias Ambientales). Universidad Técnica de Comercialización y Desarrollo. Ayolas, Paraguay.

<sup>17</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (2022, 20 de enero). *EBY Incorporará Equipos Para La Lucha Contra Incendios*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de

<https://www.eby.gov.py/2022/01/20/eby-incorporara-equipos-para-la-lucha-contra-incendios/>

<sup>18</sup> Rodríguez, M. A. (2019, Diciembre 21). *Bomberos de Ayolas Celebran 20 años de vida institucional*. ABC Color. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de

<https://www.abc.com.py/nacionales/2019/12/21/bomberos-de-ayolas-celebraron-20-anos-de-vida-institucional/>

como San Cosme y Damián, Paraguay y la ciudad de Ituzaingó, Argentina.<sup>19</sup> Asimismo, en los recientes casos de incendios desbordados que amenazaban la zona de la hidroeléctrica, han recibido el apoyo de bomberos de otras ciudades más lejanas como San Juan Bautista, que se encuentra a 112 kilómetros o San Ignacio, ubicada a 82 kilómetros e incluso unidades de Asunción y el Departamento Central.<sup>20</sup>

### 3.1.3. Principales desafíos

Considerando los grandes incendios que han afectado a la Isla Yacyretá en los últimos años, el equipo técnico ha revelado que el principal desafío es llegar a tiempo para combatirlos antes de que se extiendan rápidamente y causen estragos en la región. La acción combinada de los vientos y las sequías que afectan a la isla influyen en la complejidad de la situación. Los fuertes vientos son un factor determinante en la rápida propagación de los incendios y dificultan su control por parte de los equipos de respuesta, mientras que la vegetación seca de la isla constituye una fuente de combustible que alimenta las llamas.<sup>21</sup>

La presencia de fauna silvestre en el área de la reserva también involucra dificultades adicionales debido a la incursión de cazadores y pescadores furtivos. Estas personas, aprovechando la oscuridad de la noche y las grandes extensiones de tierra, se infiltran en áreas de la reserva que se encuentran desprotegidas de guardaparques con intención de obtener especies valiosas en peligro de extinción para su comercialización de manera ilegal. Sus campamentos improvisados, la falta de conciencia y el desinterés por la preservación del entorno constituyen prácticas que frecuentemente se convierten en puntos de inicio de incendios, por ejemplo, por el uso inadecuado de fogatas o la negligencia al apagarlas. Estos incidentes se evidencian aún más cuando se obtienen frentes de fuego alejados entre sí, lo que indica que fueron provocados.<sup>22</sup>

Ante focos de incendios desbordados, características propias del terreno como su topografía irregular y densa vegetación dificultan en gran medida el ingreso de los bomberos, por lo que los esfuerzos conjuntos de los equipos de respuesta se centran principalmente en tareas de contención del fuego para evitar que avance hacia las instalaciones de la hidroeléctr. Al tratarse de regiones prácticamente impenetrables, “lograr su extinción se vuelve una tarea imposible y los daños que deja el fuego son irreversibles”, indicaba el Ing. José Bobadilla, responsable del sector Medio Ambiente de la EBY.<sup>23</sup> Esto

---

<sup>19</sup> La Nación. (2020, 25 de Noviembre). *Incendio de gran magnitud asoló la isla Yacyretá*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://www.lanacion.com.py/pais/2020/11/25/incendio-de-gran-magnitud-asolo-la-isla-yacyreta/>

<sup>20</sup> Diario Norte. (2022, 23 de Enero). *Incendios desbordados en Ayolas amenazan a la represa Yacyretá*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://www.diarionorte.com/214073-incendios-desbordados-en-ayolas-amenazan-a-la-represa-yacyreta>

<sup>21</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (2022, 21 de enero). *La Central Yacyretá Y Aña Cuá No Están En Riesgo Por Los Focos De Incendio*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de

<https://www.eby.gov.py/2022/01/21/la-central-yacyreta-y-ana-cua-no-estan-en-riesgo-por-los-focos-de-incendios/>

<sup>22</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (2013, 14 de septiembre). *Controlan Incendio en la Reserva de la Isla Yacyretá*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/2013/09/14/controlan-incendio-en-la-reserva-de-la-isla-yacyreta/>

<sup>23</sup> La Nación. (2022, 23 de Enero). *Instalaciones de Yacyretá no corren riesgo por los incendios, aseguran*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de

resalta la necesidad de detectar los incendios antes de que adquieran mayor envergadura.

### 3.2. Tecnologías de Detección Temprana en el mundo

El Doctor en Biología por la Universidad de Barcelona, Juli G. Pausas, explica que los principales factores que deben concurrir para que se genere un incendio forestal son el oxígeno, el combustible y una ignición. Por combustible se refiere a la vegetación, que junto con el oxígeno, son componentes que se encuentran naturalmente presentes en las zonas boscosas. Las igniciones, por otro lado, pueden darse de manera natural, por ejemplo ante la presencia de rayos, o bien, pueden originarse de manera antrópica, es decir por acción humana, ya sea de manera intencional o accidental, siendo esta última la causa más frecuente.<sup>24</sup> Además de estos tres factores, la topografía y las condiciones climáticas de la zona, tales como los niveles de humedad y las características del viento, influyen en la severidad del incendio y su velocidad de propagación. En función de estos elementos, cada país o región define sus propias normativas con medidas destinadas a prevenir los incendios forestales o minimizar su impacto, mientras que para detectar incendios forestales los métodos que se utilizan son muy similares a nivel global.

A continuación, se mencionan brevemente medidas generales para la prevención de incendios forestales, y posteriormente se analizan las principales tecnologías de detección temprana utilizadas a nivel global, incluyendo ejemplos internacionales. Es importante aclarar que existen muchas otras herramientas utilizadas para la gestión de los incendios forestales en sus diferentes etapas. No obstante, como este trabajo contempla una solución de detección temprana, esta investigación sólo considerará tecnologías utilizadas para esta función.

#### 3.2.1. Medidas preventivas

Las autoridades de cada localidad son responsables de definir las acciones específicas que deben cumplirse con objeto de prevenir los incendios forestales en cada región. En general, las medidas implementadas globalmente involucran prácticas muy similares. En zonas boscosas pobladas, la construcción de viviendas en zonas próximas a bosques aumenta los riesgos de incendios forestales, por lo que algunas de las estrategias adoptadas por los responsables locales para comunidades que viven en zonas de alto riesgo de incendios en el Estado de California, por ejemplo, incluyen la designación de materiales específicos que sean resistentes a igniciones para la construcción de sus viviendas, el despeje de maleza y el establecimiento de brechas entre árboles y arbustos. Las quemadas prescritas o controladas también son herramientas aplicadas en la región para la gestión de fuentes de combustibles que normalmente son efectuadas por bomberos.<sup>25</sup>

---

<https://cdn-www.lanacionpy.arcpublishing.com/pais/2022/01/23/instalaciones-de-yacyreta-no-corren-riesgo-por-los-incendios-aseguran/>

<sup>24</sup> Pausas, J. G. (2012). *Incendios forestales: una visión desde la ecología*. Madrid: CSIC. Recuperado el 18 de Mayo de 2023 de <https://elibro-net.sire.ub.edu/es/ereader/craiuub/216563?page=9>

<sup>25</sup> National Geographic Society. (2022, 20 de Mayo). *Wildfire Preparedness and Safety: A How-To Guide*. Recuperado el 24 de Mayo de 2023 de <https://education.nationalgeographic.org/resource/wildfire-preparedness-and-safety-how-guide/>

En zonas boscosas despobladas, la eliminación de la vegetación seca también constituye una importante práctica llevada a cabo desde hace ya mucho tiempo para prevenir la propagación del fuego en caso de incendios. Tal como explica Steve Abrahamse, Comandante de División de Bomberos en Ciudad del Cabo (Anexo 6), en Sudáfrica, las autoridades encargadas de la región se ocupan de la limpieza de sus bosques deshaciéndose de árboles muertos y seriamente cubiertos de maleza que dificultan el acceso a la zona. Asimismo, otro ejercicio frecuente constituye la creación de espacios denominados cortafuegos, es decir, áreas donde se elimina la vegetación y otros materiales combustibles por completo, con objeto de obtener franjas que interrumpan los avances en caso de incendios forestales, utilizando máquinas trituradoras que convierten la vegetación removida en fertilizante. Otras acciones preventivas incluyen el despeje del área de vegetación exótica con objeto de conservar el agua mediante la preservación de las especies de vegetación nativa, lo que contribuye a la ralentización de la propagación de los incendios.

En general, para la detección temprana de incendios forestales pueden utilizarse diferentes tecnologías como cámaras de vigilancia, el control mediante aeronaves no tripuladas (drones) o mapas satelitales y la implementación de redes de sensores. Por otro lado, los avances tecnológicos están impulsando cada vez más el desarrollo de soluciones emergentes que buscan involucrar elementos disruptivos, entre los cuales se destacan las tecnologías de inteligencia artificial a partir de datos procedentes de satélites, como herramienta auxiliar en la prevención y detección temprana de incendios forestales.

### 3.2.2. Cámaras de Vigilancia

Dentro de esta clasificación pueden considerarse: las cámaras de video sensibles al humo durante el día y al fuego durante la noche; los infrarrojos, es decir, cámaras termográficas basadas en la detección del flujo del calor del fuego; los espectrómetros, capaces de identificar las características espectrales del humo; y los sistemas de detección de luz y alcance que miden los rayos láser reflejados por las partículas de humo. Cada uno de estos sistemas cuenta con características específicas que pueden variar de acuerdo a los algoritmos con que son diseñados, pero en general, todos están basados en principios de detección de humo y fuego. Las cámaras poseen un número determinado de píxeles, a partir de los que las unidades de procesamiento rastrean los movimientos y controlan la cantidad de éstos que contienen humo o fuego, que luego son analizados mediante un algoritmo que emite señales de alerta en caso de ser necesario. Generalmente este tipo de sistemas ópticos se integra con mapas geográficos de localización.<sup>26</sup>

Entre las principales características de este tipo de tecnologías se encuentran la amplitud de visión y la capacidad de detectar incendios incluso en condiciones de visibilidad nocturna y/o reducida, aunque deben implementarse en zonas expuestas para no bloquear su

---

<sup>26</sup>Alkhatib, A. A. A. (2014). *A Review on Forest Fire Detection Techniques*. The University of South Wales, UK. Academic Editor: Shuai Li. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2014/597368>

visión y pueden mandar falsas alarmas o dar ubicaciones imprecisas de la ocurrencia de los incendios. La elección del tipo de tecnología a utilizar no sólo depende de sus características y condiciones de operación sino también de los recursos financieros disponibles.

### 3.2.3. Vigilancia Aérea y Satelital

La utilización de los drones, es decir, dispositivos aéreos que pueden ser controlados de manera remota, ofrece algunas ventajas significativas en comparación con los métodos de vigilancia terrestre, como, por ejemplo, la capacidad de acceder volando a terrenos difíciles o zonas inaccesibles para las tripulaciones terrestres y la posibilidad de recopilar y transmitir datos más rápida y eficientemente. Los drones también permiten mapear la extensión de un incendio, ofreciendo información útil para el combate contra el fuego y el impedimento de su expansión. No obstante, para el uso de este tipo de tecnologías se debe tener en cuenta los tiempos de vuelo limitados ante la capacidad del equipo, su coste de adquisición y las condiciones climáticas adversas como niebla o lluvia, que pueden impedir su uso.<sup>27</sup>

Los incendios forestales también pueden ser detectados mediante instrumentos satelitales. La NASA utiliza sistemas satélites de órbita polar, que proporcionan vistas detalladas de los incendios y el humo dos veces al día, al igual que satélites geoestacionarios que proporcionan información cada cinco minutos con una resolución menor. Estos instrumentos son especialmente útiles para detectar incendios forestales en zonas remotas y también permiten la obtención de información valiosa para la gestión de los mismos.<sup>28</sup> Sin embargo, en su utilización como herramientas de detección de incendios deben considerarse sus posibles limitaciones de cobertura y la intermitencia en las señales enviadas, que puede dificultar la realización de controles rápidos y efectivos.

### 3.2.4. Sensores

Los sensores inalámbricos WSN por sus siglas en inglés (*Wireless Sensor Networks*) constituyen una red de sensores capaces de detectar en su entorno tanto parámetros físicos como la temperatura, la presión, humedad, etc; o parámetros químicos como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, entre otros.<sup>29</sup> Este tipo de sensores pueden utilizar diferentes tipos de tecnologías para comunicarse entre sí y transmitir los datos a una estación central. Pueden implementarse en zonas donde el acceso a cableado es limitado y generalmente tienen un reducido consumo de energía. Normalmente, están conformados por nodos recolectores de

---

<sup>27</sup> Yandouzi, M., Grari, M., Idrissi, I., et al. (2022). *Review on forest fires detection and prediction using deep learning and drones*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT). Mohammed First University, Oujda, Morocco. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de

[https://www.researchgate.net/profile/Idriss-Idrissi/publication/361739530\\_REVIEW\\_ON\\_FOREST\\_FIRES\\_DETECTION\\_AND\\_PREDICTION\\_USING\\_DEEP\\_LEARNING\\_AND\\_DRONES/links/62c2df25412e4c2aaeaa91a5/REVIEW-ON-FOR-EST-FIRES-DETECTION-AND-PREDICTION-USING-DEEP-LEARNING-AND-DRONES.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Idriss-Idrissi/publication/361739530_REVIEW_ON_FOREST_FIRES_DETECTION_AND_PREDICTION_USING_DEEP_LEARNING_AND_DRONES/links/62c2df25412e4c2aaeaa91a5/REVIEW-ON-FOR-EST-FIRES-DETECTION-AND-PREDICTION-USING-DEEP-LEARNING-AND-DRONES.pdf).

<sup>28</sup> Gutro, R. NASA Goddard Space Flight Center. (2021, 9 de diciembre). *NASA Covers Wildfires Using Many Sources*. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Recuperado el 29 de Mayo de 2023 de [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/fires/main/missions/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/fires/main/missions/index.html)

<sup>29</sup> Alkhatib, A. A. A. (2014). *A Review on Forest Fire Detection Techniques*. The University of South Wales, UK. Academic Editor: Shuai Li. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2014/597368>

los datos del ambiente, nodos coordinadores que reciben esta información, nodos gateway que conectan los nodos WSN con la red de datos para la salida de información y la estación de base donde se recibe, procesa y almacena esta información.<sup>30</sup>

Estos sistemas ofrecen la ventaja de contar con vigilancia continua y automática, además de que no se ven afectados por las condiciones climáticas debido a que se conectan entre sí por medio de redes inalámbricas y para generar alertas. Entre sus desventajas, sin embargo, pueden incluirse la necesidad de recarga de baterías y el elevado número de sensores necesarios para que el sistema funcione correctamente.<sup>31</sup>

### 3.2.5. Tecnologías de Inteligencia Artificial

A partir de la recopilación de datos y el desarrollo de algoritmos capaces de procesarlos y ofrecer soluciones, es posible analizar datos climáticos, niveles de humedad y otros factores relevantes que permitan predecir las posibilidades de ocurrencia de incendios forestales y tomar acciones para prevenirlos. El proyecto *FireAid*, por ejemplo, se trata de una solución desarrollada por el Foro Económico Mundial en conjunto con otras organizaciones, que utiliza datos de satélites y mapas térmicos para determinar las zonas con mayor riesgo de incendio, elaborar una asignación de recursos acorde a éstos y estrategias de respuesta en consonancia.<sup>32</sup>

La inteligencia artificial también puede ser aplicada para la detección temprana de incendios a partir de imágenes de satélites y análisis de datos para contribuir a una respuesta rápida, en que la información sobre el inicio y forma de propagación del fuego resultan cruciales. El proyecto FUEGO, por sus siglas en inglés (*Fire Urgency Estimator in Geostationary Orbit*), constituye una alternativa propuesta por el astrofísico de Berkeley Carlton Pennypacker y su equipo, que utiliza información en tiempo real mediante la monitorización continua desde un satélite geoestacionario que permite una detección temprana y respuesta rápida ante un incendio.<sup>33</sup>

No obstante, este tipo de tecnologías emergentes todavía puede verse limitado debido a la gran cantidad de datos que requiere su funcionamiento. Para continuar el desarrollo de avances tecnológicos significativos utilizando enfoques disruptivos en la lucha contra los incendios forestales, resulta fundamental contar con repositorios de datos globales de calidad, digitalizados y estandarizados, con códigos abiertos que permitan su utilización

---

<sup>30</sup> Tatayo Vinueza, E., & Llugsí Cañar, R. (2022). *Implementación de una mini-red de sensores inalámbricos para detección temprana de incendios forestales*. Revista Internacional de Tecnologías de la Información, Volumen(10). Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de [https://cercabib.ub.edu/permalink/34CSUC\\_UB/e62qjn/cdi\\_crossref\\_primary\\_10\\_36825\\_RITI\\_10\\_21\\_008](https://cercabib.ub.edu/permalink/34CSUC_UB/e62qjn/cdi_crossref_primary_10_36825_RITI_10_21_008)

<sup>31</sup> Montiel Molina, C., Solana Gómez, J., & Herrero Corral, G. (2009). *Sistemas de detección de incendios forestales en España*. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de [https://www.researchgate.net/profile/Cristina-Molina-2/publication/281079698\\_Sistemas\\_de\\_deteccion\\_de\\_incendios\\_forestales\\_en\\_Espana/links/55f86a1b08aacc948c47cdc99/Sistemas-de-deteccion-de-incendios-forestales-en-Espana.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cristina-Molina-2/publication/281079698_Sistemas_de_deteccion_de_incendios_forestales_en_Espana/links/55f86a1b08aacc948c47cdc99/Sistemas-de-deteccion-de-incendios-forestales-en-Espana.pdf)

<sup>32</sup> Foro Económico Mundial. (2022, 18 de Mayo). *Cómo la IA puede ayudar al mundo a combatir los incendios forestales*. Recuperado el 24 de Mayo de 2023 de <https://www.weforum.org/agenda/2022/05/how-ai-can-help-the-world-fight-wildfires/>

<sup>33</sup> National Geographic Society. (2020, 20 de Mayo). *Combatiendo el fuego con tecnología*. Recuperado el 24 de Mayo de 2023 de <https://education.nationalgeographic.org/resource/fighting-fire-tech/>



de manera descentralizada a nivel global.<sup>34</sup>

### 3.2.6. Ejemplos internacionales

La detección temprana de incendios se ha convertido en una práctica fundamental a nivel global, y para ello, la tecnología desempeña un papel crucial en la contribución de la gestión de los incendios no sólo para evitar que éstos se salgan de control sino también para tomar decisiones más informadas en la preparación, respuesta y recuperación ante estos desastres naturales. A continuación se consideran algunos ejemplos internacionales:

- En California, Estados Unidos, a lo largo de todo el estado se han implementado tecnologías para el control de incendios forestales en tiempo real, incluyendo cámaras con visión de alta calidad de 360 grados, cámaras infrarrojas y tecnologías de vigilancia aérea con sensores de detección de zonas propensas a la generación de incendios.<sup>35</sup>
- En Ciudad del Cabo, Sudáfrica, según comentaba Steve Abrahamse (Anexo 7), también se han instalado cámaras de vigilancia en puntos estratégicos de la cima de montañas y colinas para la monitorización de humo en la región, que son gestionadas por personal especializado y que se encargan de enviar alertas en caso de incendios. Además, cuentan con la asistencia de helicópteros de lucha contra incendios mediante la dispersión de agua en los focos de los mismos.
- En España, las cámaras de videovigilancia también han sido implementadas en diversos puntos estratégicos situados en zonas con riesgo de incendio, por ejemplo, en Cataluña<sup>36</sup>, o en Galicia, donde en 2023 se prevé ampliar y renovar la red de cámaras de vigilancia para facilitar la implementación de tecnologías de inteligencia artificial.<sup>37</sup>
- En Chile, se utilizan principalmente sistemas de detección terrestre fija que consisten en la disposición de torres con observadores, ubicadas normalmente en cerros o zonas de altura prominente. Estos observadores constantemente vigilan la zona y se comunican entre sí por radiotransmisores.<sup>38</sup> La utilización de cámaras de vigilancia es menos frecuente, aunque en los últimos años se han implementado en lugares como el

---

<sup>34</sup> Foro Económico Mundial. (2022, 18 de Mayo). *Cómo la IA puede ayudar al mundo a combatir los incendios forestales*. Recuperado el 24 de Mayo de 2023 de <https://www.weforum.org/agenda/2022/05/how-ai-can-help-the-world-fight-wildfires/>

<sup>35</sup> Alert California. (s.f.). *Tecnología*. Recuperado el 29 de Mayo de 2023 de <https://alertcalifornia.org/technology/>

<sup>36</sup> La Vanguardia. (2020, 22 de julio). *Las nuevas cámaras de vigilancia forestal cubren un 43% más de terreno*. Recuperado el 29 de Mayo de 2023 de <https://www.lavanguardia.com/vida/20200722/482467914807/las-nuevas-cameras-de-vigilancia-forestal-cubren-un-43--mas-de-terreno.html>

<sup>37</sup> La Vanguardia. (2022, 29 de diciembre). *La Xunta amplía la red de cámaras de vigilancia forestal e incrementa la inversión en 2,3 millones*. Recuperado el 29 de mayo de 2023 de <https://www.google.com/search?q=la+vanguardia+c%C3%A1maras+de+vigilancia+en+galicia&coq=la+vanguardia+c%C3%A1maras+de+vigilancia+en+galicia&aqs=chrome..69i57j69i64.11883j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

<sup>38</sup> Corporación Nacional Forestal (CONAF). (s.f.). *Detección de incendios forestales*. Recuperado el 02 de junio de 2023 de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/deteccion-de-incendios-forestales/#:~:text=La%20detecci%C3%B3n%20de%20incendios%20forestales,despacho%20de%20los%20recursos%20necesarios.>

Bosque Arauco.<sup>39</sup>

- En Brasil, considerando que la situación general del país se caracteriza por regiones remotas que no cuentan con medios intensivos ni sitios de control, el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) se encarga de controlar incendios forestales a partir de datos de satélites. De esta manera obtienen coordenadas geográficas de focos de incendios, riesgos meteorológicos y mapas de las áreas quemadas.<sup>40</sup>

### 3.3. Alternativas para la Isla Yacyretá

De los ejemplos internacionales recientemente considerados, la situación en Paraguay se asemeja más a la de Brasil, es decir que el país se caracteriza principalmente por regiones extensas donde aún no han sido implementadas tecnologías de detección temprana, lo que influye significativamente en la capacidad de respuesta de los equipos responsables. Considerando específicamente la Isla Yacyretá, como posibles alternativas pueden examinarse los sensores, los sistemas de vigilancia aérea y satelital, y las cámaras de vigilancia. Sin embargo, entre estas opciones, es importante tener en cuenta la complejidad de instalación y mantenimiento que requieren los sensores, además de la necesidad de colocación de una gran cantidad de los mismos para obtener una cobertura efectiva, por lo que esta alternativa podría no ser la más adecuada. La utilización de drones como herramientas de vigilancia aérea, por otro lado, también requiere de pilotos capacitados para su operación y puede verse limitada por las restricciones en tiempo de vuelo, por lo que no sería la opción más conveniente para controlar extensas áreas de manera continua y prolongada. Asimismo, la utilización de datos de satélites, si bien constituye una herramienta útil para el mapeo de la región y conocimiento de los focos de calor, representa importantes retrasos hasta la detección de los incendios. Finalmente, las cámaras de vigilancia presentan ciertas ventajas con respecto a las demás tecnologías consideradas, debido a que pueden aprovechar la infraestructura existente en la isla y colocarse en puntos estratégicos, ofreciendo la posibilidad de supervisión de manera constante y con menores costes de operación. Además, son capaces de captar imágenes en tiempo real para detectar los incendios en sus etapas iniciales y emitir alertas que permitan a los equipos responsables reaccionar a tiempo.

## IV. SOLUCIÓN PARA LA ISLA YACYRETÁ

A partir de la noción de que una propuesta puede considerarse innovadora cuando involucra la introducción de una solución que previamente no había sido aplicada en un contexto específico, es posible considerar que una manera de innovar es modificando la forma

---

<sup>39</sup> Arauco, Chile. (2018, 21 de diciembre). *ARAUCO implementa cámaras robot de 360° para detectar incendios*. Recuperado el 2 de junio de 2023 de

<https://www.arauco.cl/chile/arauco-implementa-cameras-robot-de-360-para-detectar-incendios/>

<sup>40</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE). (s.f.). *Preguntas Frecuentes*. Recuperado el 29 de Mayo de 2023 de <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes#p1>

de hacer las cosas dentro de una empresa, para mejorar un producto o servicio existentes.<sup>41</sup> El presente Plan de Innovación propone introducir tecnología de detección temprana dentro del sistema de gestión de incendios forestales en la Isla Yacyretá, y para ello, es importante resaltar que, si bien la solución considerada se encuentra ampliamente difundida e implementada a nivel global como se explicó en el capítulo anterior de este documento, la misma hasta la fecha no ha sido contemplada como parte del sistema que se pretende mejorar. Por lo tanto, mediante la incorporación de esta tecnología dentro del proceso de gestión de incendios forestales de la Entidad Binacional Yacyretá en la Isla Yacyretá, se busca contribuir a una mayor capacidad de respuesta de los equipos de emergencia.

Para proponer la solución, resulta fundamental comprender el significado de Detección dentro del proceso de gestión de los incendios forestales. Cuando se inicia un incendio forestal, se entiende por detección al descubrimiento, localización y reporte de éste, mediante diversos recursos y procedimientos que dan lugar a una serie de actividades para el combate y extinción del fuego. Para poder considerarse oportuna, la detección debe darse habiendo transcurrido el menor tiempo posible desde el inicio del fuego, de manera que los equipos de respuesta puedan reaccionar rápidamente, aumentando las probabilidades de éxito en el combate del mismo y la minimización de los daños ocasionados.<sup>42</sup>

#### **4.1. Objetivos del Plan de Innovación para la Detección Temprana de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá**

Los objetivos del presente Plan de Innovación se encuentran en concordancia con la misión y visión de la Entidad Binacional Yacyretá, que promueven la generación de energía eléctrica de manera eficiente y sostenible, al igual que con sus valores, que incluyen la honestidad, transparencia, innovación y compromiso de mejora continua, entre otros.<sup>43</sup> Estos objetivos son:

- Mejorar la capacidad de vigilancia y detección temprana de incendios forestales en la isla mediante el uso de tecnología.
- Contribuir a una respuesta rápida por parte de los equipos de emergencia ante incendios en la isla.
- Optimizar la gestión de incendios forestales en la Isla Yacyretá a través de la innovación.
- Proteger la central hidroeléctrica y la biodiversidad de la isla mitigando riesgos asociados a incendios forestales.

---

<sup>41</sup> Cámara de Comercio de España. (s.f.). *¿Cómo innovar en mi empresa?*. Recuperado el 31 de Mayo de 2023 de <https://www.camara.es/innovacion-y-competitividad/como-innovar/tipos#:~:text=En%20este%20sentido%2C%20se%20entiende,sustanciales%20de%20los%20ya%20existentes.>

<sup>42</sup> Corporación Nacional Forestal (CONAF). (s.f.). *Detección de incendios forestales*. Recuperado el 02 de junio de 2023 de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/deteccion-de-incendios-forestales/#:~:text=La%20detecci%C3%B3n%20de%20incendios%20forestales,despacho%20de%20los%20recursos%20necesarios.>

<sup>43</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Misión, visión y valores*. Recuperado el 31 de Mayo de 2023 de <https://www.eby.org.ar/mision-vision-valores/>

## 4.2. Análisis DAFO del actual sistema de gestión de incendios forestales

La siguiente imagen (Figura 3) constituye un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) elaborado para identificar y evaluar los principales aspectos del actual sistema de gestión de incendios en la Isla Yacyretá considerados para la realización del plan de innovación. Las debilidades y amenazas detectadas permitirán enfocar los esfuerzos en el desarrollo de una solución que aborde aquellos puntos que pueden ser mejorados, mientras que las fortalezas y oportunidades reconocidas servirán de base para el diseño de una propuesta centrada en el aprovechamiento de éstas.



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3. Análisis DAFO del Sistema de Gestión de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá en la actualidad*

En general, se destaca la oportunidad de utilizar la infraestructura existente en la isla, es decir, tanto las obras civiles de la central hidroeléctrica como la red de antenas dispuesta dentro de la isla, para el desarrollo de una propuesta de plan de innovación que involucre la implementación de una tecnología de detección temprana, que permita optimizar la capacidad de respuesta de los equipos de emergencia ante la aparición de incendios forestales.

### 4.3. Modelo de innovación para la Isla Yacyretá

El modelo de innovación propuesto (Figura 4) consta de tres etapas específicas. La primera es la realización de un Diagnóstico sobre el actual sistema de gestión de incendios forestales en la Isla Yacyretá. La segunda etapa constituye la elaboración de la Propuesta de Solución, en donde se describen los principales aspectos contemplados en el proyecto para la implementación de la tecnología de detección temprana, teniendo en cuenta los objetivos previamente definidos para el plan de innovación y se incluyen consideraciones generales, principales desafíos asociados e ideas complementarias. La tercera etapa corresponde al Diseño y Planificación de las acciones necesarias para la implementación del plan, y comprende el cronograma de actividades, la estimación de la inversión y los resultados esperados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Modelo de Innovación aplicado al Sistema de Gestión de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá

#### 4.3.1. Diagnóstico del actual del sistema de gestión de incendios forestales

Teniendo en cuenta el análisis del actual sistema de gestión de incendios forestales en la Isla Yacyretá, el cual fue previamente desarrollado en profundidad en la sección 3.1. del presente documento, a continuación se presenta un breve esquema general donde se resumen las principales etapas del sistema y sus respectivas características más relevantes (Figura 5).



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Esquema de funcionamiento y características del actual del Sistema de Gestión de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá

En el esquema se evidencian las limitaciones del actual sistema en términos de equipamiento y tecnología en las distintas etapas del proceso de gestión de incendios forestales en la isla, los cuales influyen en gran medida en la capacidad de los equipos de respuesta. Asimismo, deben considerarse los factores climáticos, como los fuertes vientos y las sequías que hacen más propensa la propagación de los incendios en la región, las propiedades del terreno, que dificultan el acceso para la extinción del fuego y otros factores externos, como la generación de incendios por acción antrópica.

#### 4.3.2. Propuesta de Solución para la Detección Temprana de Incendios Forestales



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Innovación en el Sistema de Gestión de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá

La figura 6 indica el punto específico dentro del sistema abordado en el presente Plan de Innovación. La propuesta consiste en la introducción de una tecnología dentro de la etapa de Detección, que posibilite la vigilancia constante de la región con objeto de detectar incendios incipientes y emitir alertas ante la aparición de éstos, permitiendo al equipo de respuesta reaccionar lo antes posible. Una actuación rápida y contundente ante incendios forestales en estados iniciales garantiza altas probabilidades de control y gestión eficiente de los mismos.<sup>44</sup>

La solución que se propone a continuación se define a partir del análisis de las alternativas de tecnologías de detección temprana que previamente fueron estudiadas en la sección 3.3. de este documento. La propuesta consiste en la implementación de un sistema de detección temprana constituido por cámaras de vigilancia con tecnología de detección de

<sup>44</sup> Costa, P., Castellnou, M., Larrañaga, A., et al. (2011). *La Prevención de los Grandes Incendios Forestales adaptada al Incendio Tipo*. Recuperado el 12 de junio de 2023 de [https://interior.gencat.cat/web/.content/home/010\\_el\\_departament/publicacions/proteccio\\_civil/guia\\_la\\_prevencio\\_dels\\_grans\\_incendis\\_forestals\\_adaptada\\_a\\_1\\_incendi\\_tipus/docs/guia\\_la\\_prevencio\\_dels\\_grans\\_incendis\\_forestals\\_cast.pdf](https://interior.gencat.cat/web/.content/home/010_el_departament/publicacions/proteccio_civil/guia_la_prevencio_dels_grans_incendis_forestals_adaptada_a_1_incendi_tipus/docs/guia_la_prevencio_dels_grans_incendis_forestals_cast.pdf)

humo. La selección de esta alternativa se realiza considerando el contexto general de la Isla Yacyretá, los recursos técnicos disponibles en la misma y la capacidad operativa de los profesionales, además de las necesidades propias del sistema de gestión de incendios mencionados anteriormente. Los principales elementos abordados por la propuesta pueden encontrarse en la figura 7.



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 7. Principales elementos de la Propuesta de Innovación para la Isla Yacyretá*

La combinación de todos los elementos mencionados en la figura anterior tienen como finalidad consolidarse en una solución innovadora, que aproveche los recursos existentes en la isla para lograr una detección temprana de los incendios forestales en la zona de protección del embalse. De esta manera, los equipos encargados podrán contar con más información en menos tiempo, para optimizar su capacidad de respuesta en casos de emergencia y aumentar sus probabilidades de gestionar eficientemente los recursos con que cuentan para el combate y la extinción de los incendios forestales. La posibilidad de responder rápidamente, es decir, antes de que los incendios se desborden y causen daños irreparables, contribuirá a salvaguardar las instalaciones de la central hidroeléctrica y preservar la biodiversidad de la isla.

La utilización de cámaras de vigilancia constituye un sistema de monitorización de fácil instalación y mantenimiento, que ofrece la posibilidad de observar las regiones en que sean instaladas de manera continua y sin interrupciones. La solución propuesta incluye el

equipamiento de las cámaras con tecnología capaz de identificar la presencia de humo en las etapas iniciales del fuego. Esto puede lograrse mediante algoritmos de procesamiento de imágenes capaces de identificar patrones característicos del humo, permitiendo una detección temprana de los incendios forestales.<sup>45</sup>

Para la instalación de las cámaras, se propone el aprovechamiento de la infraestructura existente y, más específicamente, de la presa de tierra que bordea la isla. La misma está compuesta por materiales sueltos y posee una sección que varía de acuerdo con la topografía del terreno y las condiciones de fundación, con una longitud de aproximadamente 20 kilómetros de longitud dentro de la isla y una altura que puede llegar hasta los 20 metros.<sup>46</sup> Dicha presa además está rematada por el denominado “camino internacional”, una ruta que conecta Argentina y Paraguay.<sup>47</sup> Esta estructura puede ser aprovechada para la colocación de las cámaras de vigilancia, permitiendo su instalación en puntos estratégicos con vistas panorámicas a las áreas forestales cercanas. Ello permitirá detectar los incendios forestales en la región incluso en sus etapas iniciales y facilitar una respuesta rápida y eficiente por parte de los equipos de emergencia.

La transmisión de la información capturada por las cámaras hasta la central de monitorización puede hacerse utilizando la red de antenas de telefonía móvil que actualmente ya existe en la isla, lo que permite ahorrar costos relacionados a sistemas de cableado. Además, mediante el aprovechamiento de esta infraestructura de comunicación es posible obtener desde la central una visión en tiempo real de las imágenes capturadas por las cámaras en los distintos puntos en que éstas se encuentren instaladas, de manera totalmente inalámbrica, aumentando en gran medida la capacidad de vigilancia en la isla y permitiendo una monitorización continua de la región para optimizar la capacidad de respuesta del personal encargado.

Para fomentar una gestión rápida por parte de los equipos de emergencia, se propone además que las cámaras de vigilancia con tecnología de detección de humo estén equipadas con un sistema de alertas automático. De esta manera, a través de la red inalámbrica se pueden emitir alertas instantáneas ante la detección de humo indicando la ubicación en que se produjo. Esto podrá permitir una rápida movilización por parte de los equipos encargados y les brindará la oportunidad de realizar acciones tempranas para el control y la extinción de estos incendios.

---

<sup>45</sup> National Institute of Standards and Technology (NIST). (2023, 27 de abril). *How Do Smoke Detectors Work?*. Recuperado el 23 de junio de 2023 de <https://www.nist.gov/how-do-you-measure-it/how-do-smoke-detectors-work#:~:text=Smoke%20alarms%20detect%20fires%20by,to%20safety%20and%20call%20911>.

<sup>46</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Tecnología de la Central Hidroeléctrica*. Recuperado el 1 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/tecnologia-de-la-central-hidroelectrica/>

<sup>47</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Datos Técnicos*. Recuperado el 14 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/datos-tecnicos/>



### 4.3.3. Consideraciones generales

Dentro de la solución propuesta se deben tener en cuenta tres aspectos importantes: el *software*, es decir el soporte lógico, el *hardware* o soporte físico, y los recursos humanos.<sup>48</sup> En cuanto al *software*, la canalización de la información desde la red de vigilancia hasta la central de control y monitorización y viceversa puede hacerse mediante una integración personalizada, a partir del desarrollo de una interfaz de programación de aplicaciones (API), o bien, mediante la adquisición de programas existentes en el mercado que cumplan esta función.<sup>49</sup> En este caso, como la Entidad Binacional Yacuyretá cuenta con un equipo técnico informático responsable del desarrollo y la gestión de todos los programas y sistemas específicos de la Isla Yacuyretá, se prevé que la integración de la solución sea desempeñada por éste, asegurando una mayor adaptabilidad y optimización de costes.

Para el *hardware*, la determinación de la tecnología concreta a ser implementada deberá ser definida por parte del personal especializado de la EBY, en base a los requisitos técnicos, capacidad operativa y recursos disponibles en la isla. La solución adoptada será establecida en un pliego de bases y condiciones y se seleccionará mediante licitación pública, para garantizar la elección de la opción más adecuada y competitiva que cumpla con los requerimientos específicos y objetivos del proyecto. Teniendo en cuenta que normalmente en este tipo de proyectos se utiliza una combinación de diversos modelos de cámaras para la cobertura del área a vigilar, a modo informativo, en el Anexo 7 pueden encontrarse alternativas de tecnologías afines implementadas internacionalmente.

Con respecto a los recursos humanos, cabe resaltar la existencia de una central de monitorización en la isla que ya cuenta con personal encargado de la supervisión de los distintos sistemas de la CHY, tal como explica el Jefe de Seguridad Industrial en la isla en el Anexo 5 de este documento, por lo que sólo se considerarán gastos adicionales asociados a su formación para operar el nuevo sistema.

### 4.3.4. Principales retos

Existen riesgos asociados a la propuesta que deben ser abordados de manera eficiente para garantizar una correcta implementación del plan de innovación. El proyecto contempla el aprovechamiento de la red de antenas de telefonía existente en la isla para la transmisión de información de manera inalámbrica. Sin embargo, considerando que en ocasiones la conectividad puede ser limitada o inestable, esto podría poner en riesgo la transmisión de la información en tiempo real desde las cámaras de vigilancia hasta la central de monitorización. Para abordar esta problemática se sugiere la incorporación de amplificadores de señal que

---

<sup>48</sup> El Mundo España. (2022, 18 de mayo). *Qué diferencia hay entre software y hardware*. Recuperado el 12 de junio de 2023 de <https://www.elmundo.es/como/2022/05/18/62850e7f21efa0116f8b45ee.html>

<sup>49</sup> Genetec Inc. (s.f.). *Monitorea tus sistemas de detección de incendios junto con tus datos de seguridad*. Recuperado el 12 de junio de 2023 de <https://www.genetec.com/es/blog/productos/monitorea-tus-sistemas-de-deteccion-de-incendios-junto-con-tus-datos-de-seguridad>

aseguren una conectividad óptima. La alimentación energética de las cámaras también debe considerarse en función de la infraestructura disponible. En las zonas donde puedan aprovecharse las columnas de iluminación o transmisión eléctrica, por ejemplo, se propone su aprovechamiento para el suministro e instalación de las cámaras. Mientras que en otras zonas donde no se disponga de éstas, podrán contemplarse alternativas de cámaras con baterías recargables de larga duración o con paneles solares integrados y sus respectivas estructuras de soporte.

Igualmente, es aconsejable la realización de esquemas y manuales instructivos sobre las cámaras implementadas con sus especificaciones técnicas y requisitos de uso, y el establecimiento de regímenes de mantenimiento periódicos.

Además, cabe la posibilidad de que existan puntos ciegos o de visibilidad obstruida por las particularidades del terreno o la vegetación densa. Ante esta situación, se recomienda la instalación de cámaras de movimiento que permitan una vigilancia más eficiente ajustando la posición y el acercamiento para ampliar la visión.<sup>50</sup>

Por otro lado, si bien en la isla ya existe personal para la supervisión del nuevo sistema de vigilancia, además de la realización de formaciones para operar el nuevo sistema, es fundamental asegurar una respuesta rápida por parte de los equipos de emergencia ante la detección de incendios. Para ello, se recomienda la elaboración de un plan de acción que establezca con claridad los procedimientos y responsables en caso de alertas de incendio o detección de humo.

#### *4.3.5. Ideas complementarias*

Como ideas complementarias a la implementación del plan de innovación pueden considerarse las siguientes:

- El desarrollo de campañas de marketing donde se informe a la ciudadanía sobre la implementación del presente plan de innovación, como una estrategia que promueva el compromiso social, ambiental y civil de la Entidad Binacional Yacyretá. Además, considerando que en la actualidad la EBY promueve el turismo sostenible dentro de la isla<sup>51</sup>, estas campañas aumentarán la popularidad del destino como un lugar seguro, responsable y comprometido con la preservación de la naturaleza.
- El aprovechamiento de la infraestructura de la presa de tierra para la implementación del sistema de cámaras de vigilancia en los tramos que se encuentran fuera de la Isla Yacyretá, respectivamente en el lado paraguayo (derecha) y en el lado argentino

---

<sup>50</sup> Axis Communications. (s.f.) *PTZ Cameras*. Recuperado el 14 de junio de 2023 de <https://www.axis.com/products/ptz-cameras>

<sup>51</sup> Entidad Binacional Yacyretá. (2023, 27 de enero). *Más De 9.000 Personas Optaron Por El Ecoturismo En Las Reservas De Yacyretá En 2022*. Recuperado el 8 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/2023/01/27/mas-de-9-000-personas-optaron-por-el-ecoturismo-en-las-reservas-de-yacyreta-en-2022/>

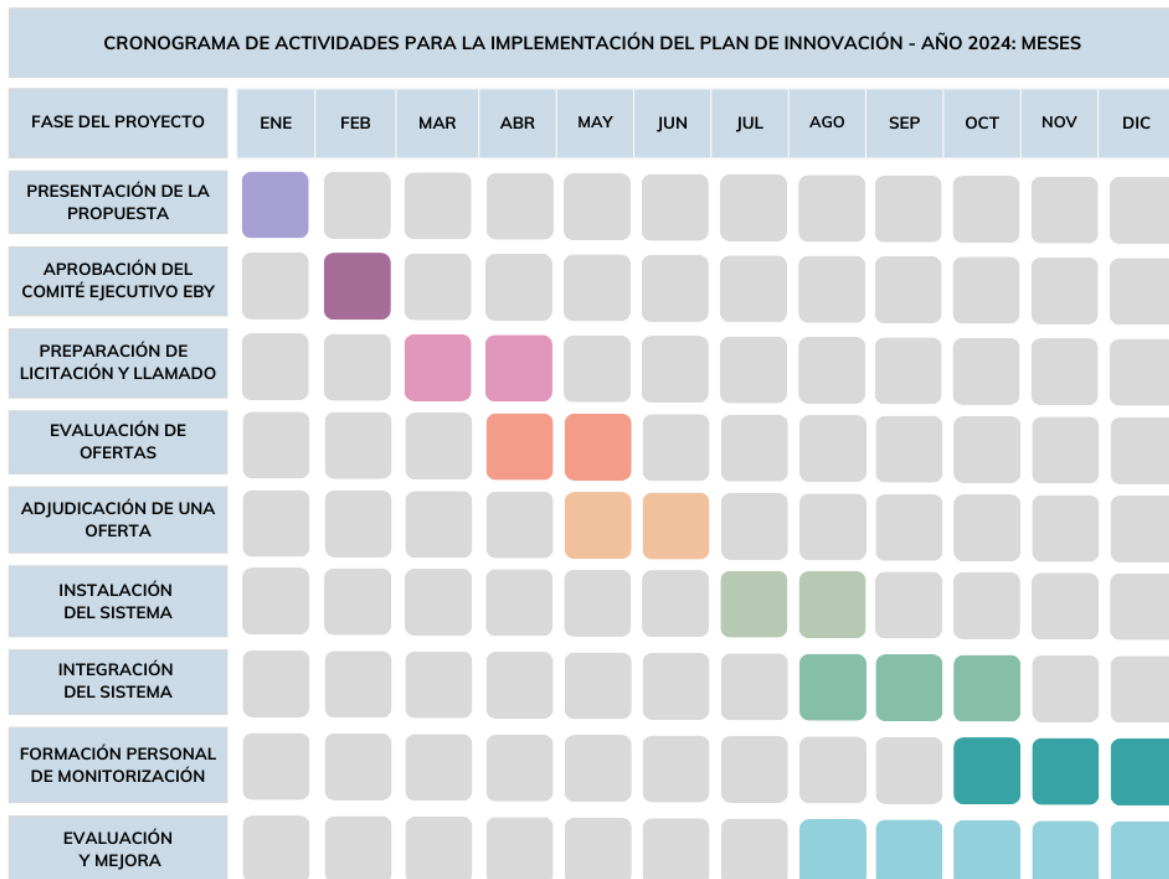
(izquierda). Esto permitirá proporcionar una mayor seguridad a la central hidroeléctrica y otras obras adicionales de la entidad.

- La instalación de cámaras en otras áreas remotas para mayor control de la isla. A pesar de que el objetivo de este trabajo no contempla la mitigación de las actividades relacionadas con la caza ilegal de los animales de la reserva, se podría aprovechar la red de vigilancia para colocar cámaras en zonas poco supervisadas en la actualidad, que faciliten un mayor control por parte de los guardabosques con respecto a las actividades ilícitas de cacería y permitan una mayor protección de las especies nativas de la isla.

Estas sugerencias proponen actividades que pueden realizarse de forma paralela a la implementación del plan de innovación. Sin embargo, al tratarse de ideas complementarias con propósitos que no forman parte del objetivo principal de este proyecto, no se contemplan dentro de su diseño y planificación.

#### 4.4. Diseño y Planificación

##### 4.4.1. Cronograma de actividades



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Cronograma de actividades para la implementación del Plan de Innovación

La figura 8 presenta el cronograma propuesto para la implementación del Plan de Innovación, distribuido a lo largo del año 2024 y dividido en 9 fases. Su diseño fue realizado teniendo en cuenta que el mes de enero constituye el periodo de mayor riesgo de incendios en la zona por tratarse del mes más cálido del año en la región, por lo que se prevé que el cronograma de actividades esté completo para el mes de enero del año 2025.

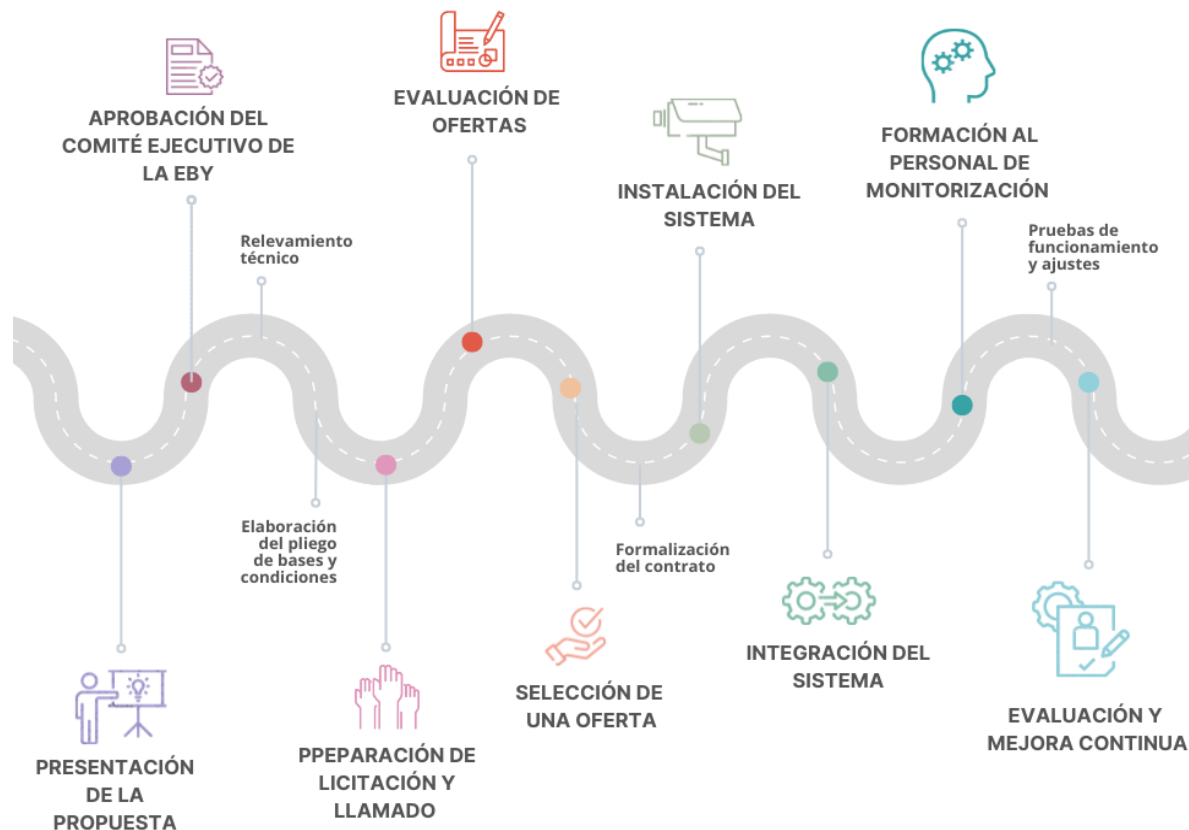
En primer lugar, resulta fundamental la presentación de la Propuesta a la Entidad Binacional Yacyretá para dar a conocer el proyecto, resaltando las razones por las que la solución de detección temprana es adecuada ante los desafíos que actualmente enfrenta la Isla Yacyretá, para contribuir a la protección de la central hidroeléctrica y la biodiversidad de la isla. La segunda fase consiste en la aprobación por parte del Comité Ejecutivo de la EBY. Al respecto, es importante resaltar que la elaboración de este plan de innovación fue realizada en comunicación con responsables del sector de Seguridad Industrial y Coordinación Logística y Contingencia Ambiental de la Isla Yacyretá, quienes han manifestado su visto bueno ante la solución propuesta y han demostrado un notable interés en la implementación de la propuesta a corto plazo.

Obtenida la aprobación, se inicia la tercera etapa que contempla las actividades relacionadas con la publicación de la licitación o concurso de precios. Esto incluye el relevamiento técnico de la Isla Yacyretá, la determinación de la tecnología concreta a ser implementada, la definición de las especificaciones constructivas, la elaboración del pliego de bases y condiciones, y el llamado a licitación de ofertas por parte de proveedores interesados. Asimismo, la cuarta fase prevé la evaluación de las propuestas recibidas para determinar cuál es la alternativa más conveniente.

Una vez completada la evaluación, la quinta etapa consiste en la selección de la oferta más adecuada y la formalización del contrato entre las partes involucradas. La sexta fase constituye la ejecución de los trabajos relacionados a la instalación y montaje del sistema, de acuerdo con las condiciones establecidas en el contrato previamente firmado. La séptima, involucra el desarrollo del *software* de integración para el establecimiento de las comunicaciones entre la red de vigilancia y la central de monitorización. Además, se prevé una octava fase destinada a la formación del personal encargado de la supervisión y monitorización del sistema para garantizar su correcta operación.

Finalmente, una novena fase contempla la evaluación y mejora continua del sistema implementado, realizando pruebas de funcionamiento y ajustes necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de detección temprana de incendios forestales en la Isla Yacyretá.

Para una mayor visualización, la siguiente imagen (Figura 9) constituye un *roadmap* que proporciona una secuencia de las fases y principales actividades recientemente mencionadas para la implementación del plan de innovación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Roadmap para la implementación del Plan de Innovación

#### 4.4.2. Estimación de la inversión

INVERSIÓN EN EL PLAN DE INNOVACIÓN EN DETECCIÓN TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES EN LA ISLA YACYRETÁ	
SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTAS	30.000 - 55.000 €
EQUIPAMIENTO ADICIONAL	10.000 €
INSTALACIÓN DEL SISTEMA	5.000 €
INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	2.500 €
FORMACIÓN DEL PERSONAL DE SUPERVISIÓN	2.500 €
<b>TOTAL ESTIMADO</b>	<b>50.000 - 75.000 €</b>

Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Estimación de la inversión

Para la implementación del proyecto se estima una inversión de 50.000 a 75.000 € (cincuenta mil a setenta y cinco mil euros). Este rango se debe a que el valor total del proyecto puede variar en función de la tecnología seleccionada, la cantidad de equipos, la disponibilidad de recursos y otros gastos asociados. Esta valoración contempla la adquisición de equipos por 750 a 1.375 € cada uno, distribuidos cada 500 metros a lo largo de los 20 kilómetros de presa en la Isla Yacyretá. Como equipamiento adicional, se prevé la adquisición de elementos necesarios para complementar el sistema y asegurar su correcto funcionamiento, incluyendo amplificadores de señal y sistemas de almacenamiento de datos. Las estimaciones correspondientes a la instalación e integración del sistema y formación de operarios se basan en los recursos requeridos para desempeñar dichas tareas, considerando que serán desarrolladas por el personal interno de la EBY, aprovechando la infraestructura existente en la isla y los conocimientos especializados de la dotación técnica que la central dispone entre sus recursos humanos.

Gracias a la generación y la venta de energía eléctrica a través de la represa hidroeléctrica, la Entidad Binacional Yacyretá cuenta con un sólido presupuesto que le permite llevar a cabo diversas actividades destinadas a obras sociales y de protección del medio ambiente. Si bien no se dispone de un desglose detallado de los importes destinados a cada rubro, en el año 2021, el presupuesto anual dirigido a proyectos sociales y de manejo ambiental en Paraguay fue de aproximadamente USD 21 millones (19.410.297 €), cifra similar a la ejecutada en el año 2020.<sup>52</sup> Teniendo en cuenta dicho presupuesto, es posible considerar que la asignación de 50.000 a 75.000 € para la implementación del plan de innovación representa una proporción relativamente pequeña del presupuesto total. Sin embargo, los beneficios que la misma puede generar resultan ampliamente significativos en comparación con los esfuerzos requeridos, considerando que contribuirán a preservar la biodiversidad de la isla y mitigar las amenazas que los incendios forestales representan para la represa hidroeléctrica, cuya inversión costó alrededor de USD 11.000 millones (aproximadamente 10.167 millones de Euros)<sup>53,54</sup>.

Por otro lado, es fundamental destacar que las inversiones realizadas a nivel internacional para la prevención y detección temprana de incendios forestales suelen ser muy altas. No obstante, los costos asociados a las consecuencias de los incendios forestales son considerablemente más elevados. En Uruguay, el plan contra incendios forestales 2019-2020 del gobierno contempló una inversión de USD 2.5 millones (2.310.749 €) para la cobertura de

---

<sup>52</sup> ABC Color. (2021, 8 de febrero). *EBY destinará USD 42 millones de su presupuesto a gastos sociales*. Recuperado el 14 de junio de 2023 de

<https://www.abc.com.py/nacionales/2021/02/08/eby-destinara-us-42-millones-de-su-presupuesto-a-gastos-sociales/>

<sup>53</sup> Banco Central Europeo. *Tipos de cambio de referencia del euro: US Dollar (USD)*. Recuperado el 15 de junio de 2023 de [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-usd.es.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.es.html)

<sup>54</sup> La información. (2014, 17 de marzo). *Argentina estima el costo de Yacyretá en 11.000 millones de dólares*. Recuperado el 14 de junio de 2023 de

[https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/argentina-estima-el-costo-de-yacyreta-en-11-000-millones-de-dolares\\_csxUmd6TMwmrcUIasoBXd3/](https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/argentina-estima-el-costo-de-yacyreta-en-11-000-millones-de-dolares_csxUmd6TMwmrcUIasoBXd3/)

800.000 hectáreas.<sup>55</sup> Mientras que en Chile, los incendios forestales masivos del 2017 que consumieron más de 580.000 hectáreas, costaron cerca de USD 333 millones (307 millones de Euros) al gobierno, según indicó el Ministro de Hacienda de dicho país.<sup>5657</sup>

#### 4.4.3. Resultados esperados

Los resultados esperados están acordes a los objetivos definidos previamente para el plan de innovación. Mediante la introducción de tecnologías de detección temprana para incendios forestales en la Isla Yacyretá, se espera mejorar la capacidad de vigilancia del personal encargado gracias al establecimiento de puntos de visión a lo largo de la presa, que transmitan la información prácticamente en tiempo real y de forma constante, garantizando una mayor supervisión y monitorización de la isla. Además, ante la detección de incendios incipientes, se prevé la emisión inmediata de alertas automáticas que permitan una rápida respuesta por parte de los equipos de emergencia para optimizar su capacidad de gestión. De esta manera, se espera contribuir a la protección de la central hidroeléctrica y la biodiversidad de la isla, a través de la mitigación de los riesgos asociados a incendios forestales.

En general, según estimaciones realizadas por el Lic. Mutti, Responsable de Coordinación Logística y Contingencia Ambiental de la EBY (Anexo 4), si bien es difícil dar una valoración cuantitativa precisa del porcentaje de contribución que la introducción de una tecnología de detección temprana podría significar dentro del proceso completo de gestión de los incendios forestales en la Isla Yacyretá, debido a que existen otros factores que pueden influir significativamente, tales como la disponibilidad de recursos para el combate y la gestión operativa del personal encargado, se podría estimar una contribución de hasta 30% en la eficacia de la gestión del incendio. Esto se debe a que una respuesta rápida resulta fundamental para un control oportuno del fuego antes de su desbordamiento. No obstante, es importante resaltar que la solución de detección temprana permitirá la obtención de información ante la aparición de incendios de manera casi inmediata, lo que permitirá a los equipos encargados obtener conocimiento y poder accionar en respuesta con hasta 24 horas de anticipación en comparación a los procedimientos actuales, que dependen de los datos satelitales que obtienen del INPE de Brasil, los cuales llegan con este retraso.

Por otro lado, considerando el enfoque de valoración económica propuesto por el economista e investigador español Diego Azqueta<sup>58</sup>, existe una gran dificultad para hallar un

---

<sup>55</sup> Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2019, 13 de diciembre). *El Plan contra incendios forestales 2019-2020 contará con una inversión de 2.5 millones de dólares*. Recuperado el 15 de junio de 2023 de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/plan-contra-incendios-forestales-2019-2020-contara-inversion-25-millones>

<sup>56</sup> Espósito, A. (2017, 3 de febrero). *Incendios forestales en Chile costarán al gobierno 333 millones de dólares, dice ministro*. Recuperado el 15 de junio de 2023 de <https://www.reuters.com/article/us-chile-wildfire-idINKBN15I2OZ>

<sup>57</sup> Banco Central Europeo. *Tipos de cambio de referencia del euro: US Dollar (USD)*. Recuperado el 15 de junio de 2023 de [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-usd.es.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.es.html)

<sup>58</sup> Azqueta Oyarzun, D. (1994). *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*. España: Editorial McGraw-Hill. Recuperado el 23 de junio de 2023.

método único que permita estimar el valor monetario del impacto de los incendios forestales en la Isla Yacyretá, y en especial, de la pérdida parcial o total de especies nativas y en peligro de extinción de la región, por tratarse de recursos únicos e invaluable. Si bien los incendios forestales sucedidos en los últimos años en la isla no han alcanzado las instalaciones de la represa, la afectación a la fauna y la flora en la zona, en muchos casos de un equilibrio muy frágil por la formación del embalse, trae consigo pérdidas irreversibles que no pueden ser evaluadas. A pesar de ello, teniendo en cuenta el monto total de la inversión de la Entidad Binacional Yacyretá para la construcción de la represa, excluyendo las nuevas obras de ampliación del brazo Aña Cuá actualmente en desarrollo, y suponiendo una distribución equitativa en las 100.000 hectáreas de superficie inundada<sup>59</sup> y alrededor de un 30% adicional para áreas no inundadas afectadas (Anexo 8), se puede inferir un valor aproximado de USD 84.615 (78.209 €) por hectárea para la Isla Yacyretá. Sin embargo, es importante aclarar que el valor real de cada hectárea en realidad puede variar según diversos factores, como su cercanía a la central y las condiciones del mercado. Considerando este valor promedio y tomando como referencia uno de los incendios más grandes ocurridos en la isla hasta la fecha, que tuvo lugar en noviembre del año 2020 y afectó 3.272 hectáreas (Anexo 9), se estima que los daños generados en un sólo incendio podrían ascender a aproximadamente USD 276.861.538 (255.903.009 €). No obstante, según las estimaciones de contribución de la solución realizadas por el Lic. Mutti de la EBY, es posible inferir que la implementación de la propuesta podría reducir hasta un 30% los costos asociados a un incendio, lo que implicaría un ahorro potencial de hasta USD 83.058.461 (76.770.902 €) gracias a la tecnología de detección temprana.<sup>60</sup>

Resultados más precisos podrán ser evaluados a partir de la medición de la minimización de las áreas afectadas desde la implementación de la solución y los ahorros en recursos invertidos para la gestión de los incendios forestales mediante la agilización de la respuesta. Sin embargo, cabe destacar que numerosos factores pueden influir en la magnitud de los beneficios alcanzados, como la efectividad de la tecnología utilizada y las condiciones específicas de implementación de la solución propuesta. La elaboración de evaluaciones periódicas y el análisis de los resultados obtenidos permitirá realizar ajustes que fomenten una mejora continua del sistema, contribuyendo al resguardo de la infraestructura y la preservación ambiental de la isla.

---

<sup>59</sup> World Bank Documents. (1997, 16 de septiembre). *Review of Problems and Assessment of Action Plans: Argentina/Paraguay. Yacyretá Hydroelectric Project*. Recuperado el 23 de junio de 2023 de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/275821468740716631/pdf/29064.pdf>

<sup>60</sup> Banco Central Europeo. *Tipos de cambio de referencia del euro: US Dollar (USD)*. Recuperado el 15 de junio de 2023 de [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-usd.es.htm](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.es.htm)



## V. CONCLUSIONES

El presente trabajo se desarrolla considerando la oportunidad con que cuenta la Entidad Binacional Yacyretá de mejorar la gestión de los incendios forestales en la Isla Yacyretá para proteger las instalaciones de la central hidroeléctrica y la biodiversidad de la isla ante las crecientes amenazas que éstos representan. Ello se encuentra en consonancia con la misión, visión y valores de la institución que buscan asegurar la generación de energía eléctrica de manera renovable, eficiente, eficaz y con sostenibilidad ambiental y social, mediante el aprovechamiento del capital humano y promoviendo la innovación y mejora continua.

Este trabajo final de máster se centra en la elaboración de un plan de innovación en detección temprana de incendios forestales en la Isla Yacyretá, que propone la incorporación de tecnología, el aprovechamiento de la infraestructura existente y la capacidad técnica del personal disponible, con el fin de contribuir al fortalecimiento de la gestión de los incendios forestales en la isla y minimizar su impacto negativo en la zona. Éste es el objetivo principal del trabajo, y para lograrlo se propusieron tres objetivos específicos: el análisis del sistema de gestión de incendios forestales en la isla en la actualidad, la investigación de tecnologías de detección temprana en el mundo, y en base a éstos, el diseño de un modelo de innovación para la Isla Yacyretá.

En ese sentido, se puede afirmar que se alcanzaron todos los objetivos definidos para el proyecto. En primer lugar, a partir de informes y registros históricos de la institución, artículos periodísticos y la realización de entrevistas al personal encargado, se determinaron las necesidades y desafíos del sistema en la actualidad y se identificaron fortalezas y áreas de mejora. Posteriormente, mediante la investigación de tecnologías de detección temprana implementadas en el mundo, se seleccionó la alternativa más adecuada para la isla. En base a los resultados obtenidos, se diseñó un modelo de innovación para la detección temprana de incendios forestales en la Isla Yacyretá, que contempla un cronograma de actividades para la implementación de la solución propuesta, buscando optimizar la gestión de los incendios forestales en la isla.

Cabe destacar que el presente trabajo se encuentra en consonancia con las recomendaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, que subrayan la importancia de invertir en medidas de prevención y detección temprana para la reducción de riesgos de incendios forestales extremos, en lugar de dirigir los esfuerzos hacia medidas de reacción y respuesta para su extinción.<sup>61</sup> Asimismo, como sugerencia complementaria se podría proponer a futuro la ampliación del modelo a las zonas adyacentes a la isla, aprovechando la infraestructura de la presa para expandir la cobertura de vigilancia.

---

<sup>61</sup> United Nations News. (2022, 23 de febrero). *Los incendios forestales aumentarán un 30% para 2050 y un 50% para fin de siglo debido a la crisis climática*. Recuperado el 30 de marzo de 2023 de <https://news.un.org/es/story/2022/02/1504472>

Por otro lado, con respecto a las limitaciones para la realización del trabajo, se pueden mencionar las dificultades para la obtención de información detallada y actualizada en relación con los incendios forestales en la Isla Yacyretá, debido a la escasa disponibilidad de registros y estudios relevantes, al igual que la existencia de documentos confidenciales relacionados. No obstante, se destaca la predisposición del personal de la EBY para colaborar con el desarrollo del proyecto y el gran interés manifestado en la implementación del mismo a corto plazo.

Finalmente, es posible afirmar que el Plan de Innovación en Detección Temprana de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá presentado en este trabajo constituye una propuesta innovadora cuya implementación representará un paso significativo hacia una gestión más efectiva de los incendios forestales en la zona. La ejecución exitosa del plan fortalecerá el compromiso de la Entidad Binacional Yacyretá con la innovación, la sostenibilidad y el cuidado del ambiente y permitirá asegurar la generación de energía renovable de manera responsable, a partir de la protección de las instalaciones de la central hidroeléctrica y la preservación de la riqueza natural de la isla ante los riesgos que los incendios forestales actualmente representan.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABC Color. (2021, 8 de febrero). *EBY destinará USD 42 millones de su presupuesto a gastos sociales*. Recuperado el 14 de junio de 2023 de <https://www.abc.com.py/nacionales/2021/02/08/eby-destinara-us-42-millones-de-su-presupuesto-a-gastos-sociales/>
- Alert California. (s.f.). *Tecnología*. Recuperado el 29 de Mayo de 2023 de <https://alertcalifornia.org/technology/>
- Arauco, Chile. (2018, 21 de diciembre). *ARAUCO implementa cámaras robot de 360° para detectar incendios*. Recuperado el 2 de junio de 2023 de <https://www.arauco.cl/chile/arauco-implementa-cameras-robot-de-360-para-detectar-incendios/>
- Axis Communications. (2021, 9 de agosto). *Combatir el fuego con cámaras: un paso innovador y lógico*. Recuperado el 13 de junio de 2023 de <https://www.axis.com/blog/secure-insights/camera-fire-fighting/>
- Azqueta Oyarzun, D. (1994). *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*. España: Editorial McGraw-Hill. Recuperado el 23 de junio de 2023.
- Biblioteca y Archivo Central del Congreso de la Nación. (2015, 9 de julio). *Ley N° 4014 / De Prevención y Control de Incendios*. Recuperado el 18 de Mayo de 2023 de <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/3547/ley-n-4014-de-prevencion-y-control-de-incendios>
- Cano Bogotá, M. F., Navarro Lizcano, V., & Santa Quintero, R. A. (2023). *Diseño de un picosatélite para el monitoreo y predicción del comportamiento de incendios forestales*. Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información, 10(19). Bogotá: Corporación Universitaria Republicana. Recuperado 18 de Mayo de 2023 de [https://cercabib.ub.edu/permalink/34CSUC\\_UB/e62qjn/cdi\\_proquest\\_journals\\_2807847773](https://cercabib.ub.edu/permalink/34CSUC_UB/e62qjn/cdi_proquest_journals_2807847773)
- Cámara de Comercio de España. (s.f.). *¿Cómo innovar en mi empresa?*. Recuperado el 31 de Mayo de 2023 de <https://www.camara.es/innovacion-y-competitividad/como-innovar/tipos#:~:text=En%20este%20sentido%2C%20se%20entiende,sustanciales%20de%20los%20ya%20existentes.>
- Chacarrex Fire Protection & Safety Engineering Technology. (s.f.). *Incendios forestales en España: ¿Cuánto se invierte para prevenirlos?*. Recuperado el 15 de junio de 2023 de <https://www.chacarrex.com/incendios-forestales-en-espana-cuanto-se-invierte-para-prevenirlos/>
- Costa, P., Castellnou, M., Larrañaga, A., et al. (2011). *La Prevención de los Grandes Incendios Forestales adaptada al Incendio Tipo*. Recuperado el 12 de junio de 2023 de [https://interior.gencat.cat/web/.content/home/010\\_el\\_departament/publicacions/protec](https://interior.gencat.cat/web/.content/home/010_el_departament/publicacions/protec)

cio\_civil/guia\_la\_prevenio\_dels\_grans\_incendis\_forestals\_adaptada\_a\_l\_incendi\_tipus/docs/guia\_la\_prevenio\_dels\_grans\_incendis\_forestals\_cast.pdf

- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (s.f.). *Detección de incendios forestales*. Recuperado el 02 de junio de 2023 de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/deteccion-de-incendios-forestales/#:~:text=La%20detecci%C3%B3n%20de%20incendios%20forestales,despacho%20de%20los%20recursos%20necesarios.>
- Cravero Leal, A., & Vásquez Morales, F. (2021). *Arquitectura de Big Data para la gestión de incendios forestales en la región de La Araucanía*. Revista científica del Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distral Francisco José de Caldas, 42(3), 304-314. Recuperado el 18 de Mayo de 2023 de [https://cercabib.ub.edu/permalink/34CSUC\\_UB/e62qjn/cdi\\_doaj\\_primary\\_oai\\_doaj\\_org\\_article\\_e564ed7e7ae2475495f4e78318e1676c](https://cercabib.ub.edu/permalink/34CSUC_UB/e62qjn/cdi_doaj_primary_oai_doaj_org_article_e564ed7e7ae2475495f4e78318e1676c)
- Dahua Technology. (s.f.). *IPC-HFW2431DG-4G-SP-LA-B*. Recuperado el 22 de junio de 2023 de <https://www.dahuasecurity.com/es/products/All-Products/Network-Cameras/Wireless-Series/4G-Camera/IPC-HFW2431DG-4G-SP-LA-B>
- Dahua Technology. (2020, 15 de mayo). *Duratex implementa la solución de monitoreo de video Dahua para detectar incendios en una etapa temprana*. Recuperado el 22 de junio de 2023 de <https://www.dahuasecurity.com/es/newsEvents/successStories/137/997>
- Diario Norte. (2022, 23 de Enero). *Incendios desbordados en Ayolas amenazan a la represa Yacyretá*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://www.diarionorte.com/214073-incendios-desbordados-en-ayolas-amenazan-a-la-represa-yacyreta>
- Fuente: Dirección Nacional de Aeronáutica Civil. Dirección de Meteorología e Hidrología. (s.f.). *Anuario Climatológico*. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de <https://www.meteorologia.gov.py/publicaciones/>
- El Mundo España. (2022, 18 de mayo). *Qué diferencia hay entre software y hardware*. Recuperado el 12 de junio de 2023 de <https://www.elmundo.es/como/2022/05/18/62850e7f21efa0116f8b45ee.html>
- Entidad Binacional Yacyretá. (2013, 14 de septiembre). *Controlan Incendio en la Reserva de la Isla Yacyretá*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/2013/09/14/controlan-incendio-en-la-reserva-de-la-isla-yacyreta/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Datos Técnicos*. Recuperado el 14 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/datos-tecnicos/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (2022, 20 de enero). *EBY Incorporará Equipos Para La Lucha Contra Incendios*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de

<https://www.eby.gov.py/2022/01/20/eby-incorporara-equipos-para-la-lucha-contra-incendios/>

- Entidad Binacional Yacyretá. Gestión Ambiental (Argentina). (s.f.). *Mapa de áreas afectadas por incendio Noviembre 2020 en la Isla Yacyretá*. Recuperado el 22 de junio de 2023.
- Entidad Binacional Yacyretá. (2012-2017). *Informes de Coordinación Logística y Contingencia Ambiental*. Recuperado el 9 de junio de 2023.
- Entidad Binacional Yacyretá. (2022, 21 de enero). *La Central Yacyretá Y Aña Cuá No Están En Riesgo Por Los Focos De Incendio*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/2022/01/21/la-central-yacyreta-y-ana-cua-no-estan-en-riesgo-por-los-focos-de-incendios/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Historia*. Recuperado el 19 de Mayo de 2023 de <https://www.eby.gov.py/historia-2/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Historia*. Recuperado el 23 de Mayo de 2023 <https://www.eby.org.ar/historia/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (2022, 11 de febrero). *Logran contener avance de nuevos focos de incendio en la Reserva de Yacyretá*. Recuperado el 14 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/2022/02/11/logran-contener-avance-de-nuevos-focos-de-incendio-en-la-reserva-de-yacyreta/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (2023, 27 de enero). *Más De 9.000 Personas Optaron Por El Ecoturismo En Las Reservas De Yacyretá En 2022*. Recuperado el 8 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/2023/01/27/mas-de-9-000-personas-optaron-por-el-ecoturismo-en-las-reservas-de-yacyreta-en-2022/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Misión, visión y valores*. Recuperado el 31 de Mayo de 2023 de <https://www.eby.org.ar/mision-vision-valores/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Tecnología de la Central Hidroeléctrica*. Recuperado el 1 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/tecnologia-de-la-central-hidroelectrica/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (1973). *Tratado de Yacyretá y Normas Complementarias*. Recuperado el 23 de junio de 2023 de [https://www.eby.gov.py/archivos/tratado\\_de\\_yacyreta1.pdf](https://www.eby.gov.py/archivos/tratado_de_yacyreta1.pdf)
- Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Reservas y Biodiversidad*. Recuperado el 30 de Marzo de 2023 de <https://www.eby.gov.py/reservas-y-biodiversidad/>
- Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). *Ubicación*. Recuperado el 30 de Marzo de 2023 de <https://www.eby.gov.py/ubicacion/>
- Espósito, A. (2017, 3 de febrero). *Incendios forestales en Chile costarán al gobierno 333 millones de dólares, dice ministro*. Recuperado el 15 de junio de 2023 de <https://www.reuters.com/article/us-chile-wildfire-idINKBN15I2OZ>

- Foro Económico Mundial. (2022, 18 de Mayo). *Cómo la IA puede ayudar al mundo a combatir los incendios forestales*. Recuperado el 24 de Mayo de 2023 de <https://www.weforum.org/agenda/2022/05/how-ai-can-help-the-world-fight-wildfires/>
- Foro Económico Mundial. (2022, 18 de Mayo). *FireAid: AI to predict and fight wildfires*. Recuperado el 24 de Mayo de 2023 de <https://www.weforum.org/projects/fireaid-ai-to-predict-and-fight-wildfires>
- Fundación Proteger. (s.f.). *Impulsan el monitoreo de la pesca en las islas Yacyretá y Apipé*. Recuperado el 23 de Mayo de 2023 de <https://web.archive.org/web/20110424153051/http://www.proteger.org.ar/monitoreo-pesca-yacyreta/#>
- Genetec Inc. (s.f.). *Monitorea tus sistemas de detección de incendios junto con tus datos de seguridad*. Recuperado el 12 de junio de 2023 de <https://www.genetec.com/es/blog/productos/monitorea-tus-sistemas-de-deteccion-de-incendios-junto-con-tus-datos-de-seguridad>
- Gutro, R. NASA Goddard Space Flight Center. (2021, 9 de diciembre). *NASA Covers Wildfires Using Many Sources*. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Recuperado el 29 de Mayo de 2023 de [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/fires/main/missions/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/fires/main/missions/index.html)
- HCDN (Argentina). (s.f.). Recuperado el 23 de junio de 2023 de <https://www4.hcdn.gob.ar/proyxml/4583D2012.jpg>
- Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE). (s.f.). *Preguntas Frecuentes*. Recuperado el 29 de Mayo de 2023 de <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes#p1>
- Instituto Nacional Forestal. (2023). *Informe de Gestión 2022*. Recuperado el 20 de mayo de 2023 de <https://nube.infona.gov.py/index.php/s/XEznoPRHb96Y6id#pdfviewer>
- Instituto Superior de Educación "Divina Esperanza" (I.S.E.D.E.). *YACYRETÁ - PASADO, PRESENTE Y FUTURO. ENCARNACIÓN "La Ciudad de los Siete Puentes"*. (2008). Encarnación, Paraguay. Recuperado el 22 de Mayo de 2023 de [https://www.unae.edu.py/biblio/media/k2/attachments/Yacyreta\\_Pasado\\_Presente\\_y\\_Futuro.pdf](https://www.unae.edu.py/biblio/media/k2/attachments/Yacyreta_Pasado_Presente_y_Futuro.pdf)
- La Nación. (2020, 25 de Noviembre). *Incendio de gran magnitud asoló la isla Yacyretá*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://www.lanacion.com.py/pais/2020/11/25/incendio-de-gran-magnitud-asolo-la-isla-yacyreta/>
- La Nación. (2022, 23 de Enero). *Instalaciones de Yacyretá no corren riesgo por los incendios, aseguran*. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://cdn-www.lanacionpy.arcpublishing.com/pais/2022/01/23/instalaciones-de-yacyreta-no-corren-riesgo-por-los-incendios-aseguran/>

- La información. (2014, 17 de marzo). *Argentina estima el costo de Yacyretá en 11.000 millones de dólares*. Recuperado el 14 de junio de 2023 de [https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/argentina-estima-el-costo-de-yacyreta-en-11-000-millones-de-dolares\\_csxUmd6TMwmrcUIasoBXd3/](https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/argentina-estima-el-costo-de-yacyreta-en-11-000-millones-de-dolares_csxUmd6TMwmrcUIasoBXd3/)
- La Vanguardia. (2020, 22 de julio). *Las nuevas cámaras de vigilancia forestal cubren un 43% más de terreno*. Recuperado el 29 de Mayo de 2023 de <https://www.lavanguardia.com/vida/20200722/482467914807/las-nuevas-camaras-de-vigilancia-forestal-cubren-un-43--mas-de-terreno.html>
- La Vanguardia. (2022, 29 de diciembre). *La Xunta amplía la red de cámaras de vigilancia forestal e incrementa la inversión en 2,3 millones*. Recuperado el 29 de mayo de 2023 de <https://www.google.com/search?q=la+vanguardia+c%C3%A1maras+de+vigilancia+en+galicia&oq=la+vanguardia+c%C3%A1maras+de+vigilancia+en+galicia&aqs=chrome..69i57j69i64.11883j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Macrofinanzas. (2022, 15 de febrero). *EBY asegura la culminación de obras en beneficio de pobladores de la Isla Yacyretá*. Recuperado el 1 de junio de 2023 de <https://www.macrofinanzas.com.py/eby-asegura-culminacion-obras-beneficio-pobladores-la-isla-yacyreta/>
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES). (2020, 16 de octubre). *Conversación Interinstitucional sobre Incendios Forestales y Pastizales con Bomberos Voluntarios*. Recuperado el 22 de Mayo de 2023 de <https://www.mades.gov.py/2020/10/16/conversacion-interinstitucional-sobre-incendios-forestales-y-pastizales-con-bomberos-voluntarios/>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2019, 13 de diciembre). *El Plan contra incendios forestales 2019-2020 contará con una inversión de 2.5 millones de dólares*. Recuperado el 15 de junio de 2023 de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/plan-contra-incendios-forestales-2019-2020-contara-inversion-25-millones>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicación. (2022). *Gobierno lanza campaña nacional para promover la concienciación y prevención de incendios forestales*. Recuperado el 18 de Mayo de 2023 de: <https://www.mitic.gov.py/noticias/gobierno-lanza-campana-nacional-para-promover-la-concienciacion-y-prevencion-de-incendios-forestales>
- Montiel Molina, C., Solana Gómez, J., & Herrero Corral, G. (2009). *Sistemas de detección de incendios forestales en España*. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de [https://www.researchgate.net/profile/Cristina-Molina-2/publication/281079698\\_Sistemas\\_de\\_deteccion\\_de\\_incendios\\_forestales\\_en\\_Espana/links/55f86a1b08aec948c47cdc99/Sistemas-de-deteccion-de-incendios-forestales-en-Espana.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cristina-Molina-2/publication/281079698_Sistemas_de_deteccion_de_incendios_forestales_en_Espana/links/55f86a1b08aec948c47cdc99/Sistemas-de-deteccion-de-incendios-forestales-en-Espana.pdf)
- Mutti, J. R. (2017). *Propuesta de un plan de manejo del fuego en la Reserva Natural Yacyretá, Distrito de San Cosme y Damián, Dpto. Itapúa*. (Tesis de licenciatura en

- Ciencias Ambientales). Universidad Técnica de Comercialización y Desarrollo. Ayolas, Paraguay. Recuperado el 6 de junio de 2023.
- Mutti, J. (s.f.) *Resumen de Incendios en las reservas naturales a cargo de la Entidad Binacional Yacyretá*. Recuperado el 6 de junio de 2023.
  - National Geographic Society. (2022, 20 de Mayo). *Wildfire Preparedness and Safety: A How-To Guide*. Recuperado el 24 de Mayo de 2023 de <https://education.nationalgeographic.org/resource/wildfire-preparedness-and-safety-how-guide/>
  - National Institute of Standards and Technology (NIST). (2023, 27 de abril). *How Do Smoke Detectors Work?*. Recuperado el 23 de junio de 2023 de <https://www.nist.gov/how-do-you-measure-it/how-do-smoke-detectors-work#:~:text=Smoke%20alarms%20detect%20fires%20by,to%20safety%20and%20call%20911.>
  - Pausas, J. G. (2012). *Incendios forestales: una visión desde la ecología*. Madrid: CSIC. Recuperado el 18 de Mayo de 2023 de <https://elibro-net.sire.ub.edu/es/ereader/crauib/216563?page=9>
  - Poder Legislativo. (2010, 17 de junio). *Ley N° 4014 de Prevención y Control de Incendios*. Recuperado el 21 de Mayo de 2023 de <https://bacn.gov.py/archivos/3547/20150709090059.pdf>
  - Rejalaga Noguera, L., Paez, H., Moriya R., et al. (2012-2017). *Plan Estratégico Nacional de Manejo Integrado del Fuego del Paraguay (Periodo 2012-2017)*. Universidad Nacional de Asunción, Secretaria de Emergencia Nacional, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Forestal Nacional, Fundación Moises Bertoni, Asociación Rural del Paraguay, Federación de Madereros del Paraguay (FEPAMA), Cuerpos de Bomberos Voluntarios del Paraguay, Promotores Ambientales San Rafael, Red Paraguaya de Conservación de Tierras Privadas. Recuperado el 18 de Mayo de 2023 de <https://gfmc.online/wp-content/uploads/PENAMIF-Paraguay-2012-2016.pdf>
  - Rodriguez, M. A. (2019, Diciembre 21). *Bomberos de Ayolas Celebran 20 años de vida institucional*. ABC Color. Recuperado el 1 de Junio de 2023 de <https://www.abc.com.py/nacionales/2019/12/21/bomberos-de-ayolas-celebraron-20-aos-de-vida-institucional/>
  - Tatayo Vinueza, E., & Llugin Cañar, R. (2022). *Implementación de una mini-red de sensores inalámbricos para detección temprana de incendios forestales*. Revista Internacional de Tecnologías de la Información, Volumen(10). Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de [https://cercabib.ub.edu/permalink/34CSUC\\_UB/e62qjn/cdi\\_crossref\\_primary\\_10\\_36825\\_RITI\\_10\\_21\\_008](https://cercabib.ub.edu/permalink/34CSUC_UB/e62qjn/cdi_crossref_primary_10_36825_RITI_10_21_008)
  - Teledyne FLIR. (s.f.). *Serie PT HD*. Recuperado el 21 de junio de 2023 de <https://www.flir.com/products/pt-series-hd/>



- Teledyne FLIR. (2019, 14 de septiembre). *FLIR ayuda a prevenir incendios forestales en el sur de Italia*. Recuperado el 21 de junio de 2023 de <https://www.flir.com/discover/security/flir-helps-prevent-wildfires/>
- United Nations News. (2022, 23 de febrero). *Los incendios forestales aumentarán un 30% para 2050 y un 50% para fin de siglo debido a la crisis climática*. Recuperado el 30 de marzo de 2023 de <https://news.un.org/es/story/2022/02/1504472>
- World Bank Documents. (1997, 16 de septiembre). *Review of Problems and Assessment of Action Plans: Argentina/Paraguay. Yacyretá Hydroelectric Project*. Recuperado el 23 de junio de 2023 de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/275821468740716631/pdf/29064.pdf>
- Yandouzi, M., Grari, M., Idrissi, I., *et al.* (2022). *Review on forest fires detection and prediction using deep learning and drones*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT). Mohammed First University, Oujda, Morocco. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de [https://www.researchgate.net/profile/Idriss-Idrissi/publication/361739530\\_REVIEW\\_ON\\_FOREST\\_FIRES\\_DETECTION\\_AND\\_PREDICTION\\_USING\\_DEEP\\_LEARNING\\_AND\\_DRONES/links/62c2df25412e4c2aaeaa91a5/REVIEW-ON-FOREST-FIRES-DETECTION-AND-PREDICTION-USING-DEEP-LEARNING-AND-DRONES.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Idriss-Idrissi/publication/361739530_REVIEW_ON_FOREST_FIRES_DETECTION_AND_PREDICTION_USING_DEEP_LEARNING_AND_DRONES/links/62c2df25412e4c2aaeaa91a5/REVIEW-ON-FOREST-FIRES-DETECTION-AND-PREDICTION-USING-DEEP-LEARNING-AND-DRONES.pdf).

Nota: Todas las fuentes consultadas se exponen en notas al pie de cada página, incluso aquellas revisadas de forma puntual.

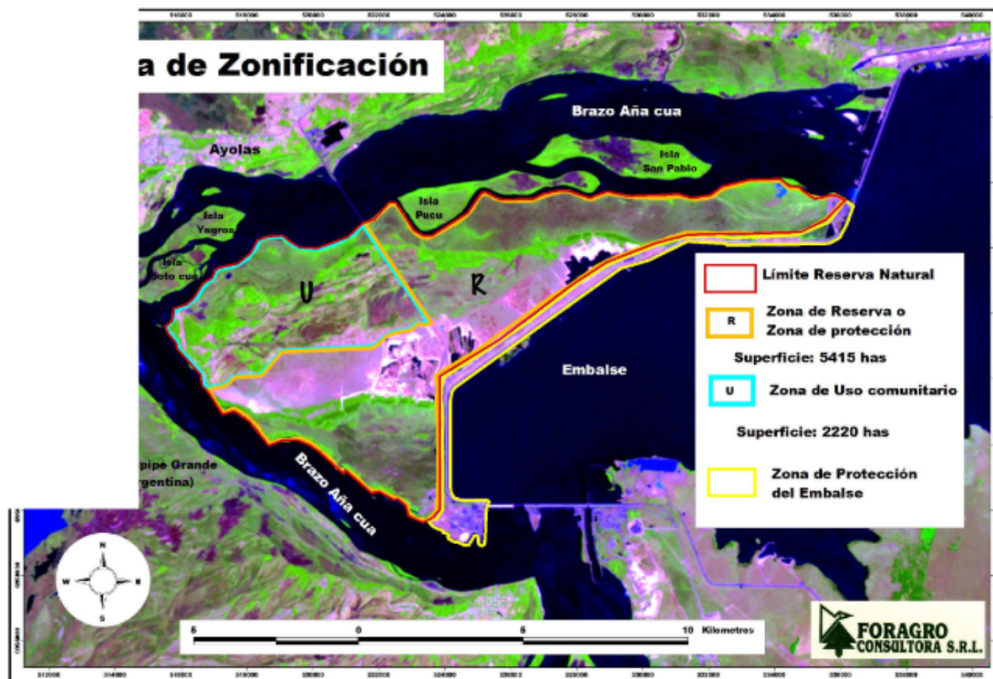
## ANEXOS

### Anexo 1. Ubicación Geográfica y Zonificación de la Isla Yacyretá.



Fuente: Mutti, J. R. (2017). Resumen de Incendios en las reservas naturales a cargo de la Entidad Binacional Yacyretá. Recuperado el 6 de junio de 2023.

Figura 11: Ubicación geográfica de la Isla Yacyretá



Fuente: Mutti, J. R. (2017). Resumen de Incendios en las reservas naturales a cargo de la Entidad Binacional Yacyretá. Recuperado el 6 de junio de 2023.

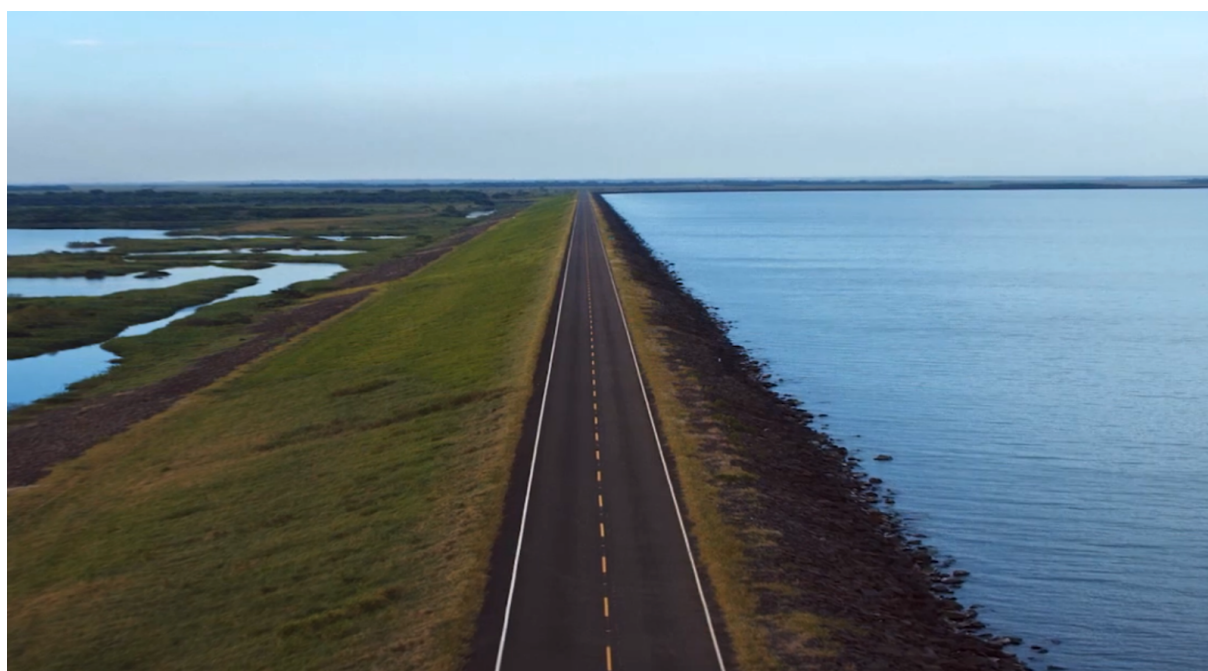
Figura 12: Zonificación de la Isla Yacyretá

## Anexo 2. Fotografías de la Isla Yacyretá.



*Fuente: Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). Recuperado el 14 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/>*

*Figura 13: Vertedero y presa de tierra en la Isla Yacyretá*



*Fuente: Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). Recuperado el 14 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/>*

*Figura 14: Embalse, ruta internacional y presa de tierra en la Isla Yacyretá*





*Fuente: Entidad Binacional Yacyretá. (s.f.). Recuperado el 14 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/>*

*Figura 15: Presa de tierra en la Isla Yacyretá*



*Fuente: Entidad Binacional Yacyretá. (2022, 11 de febrero). Recuperado el 14 de junio de 2023 de <https://www.eby.gov.py/2022/02/11/logran-contener-avance-de-nuevos-focos-de-incendio-en-la-reserva-de-yacyretá/>*

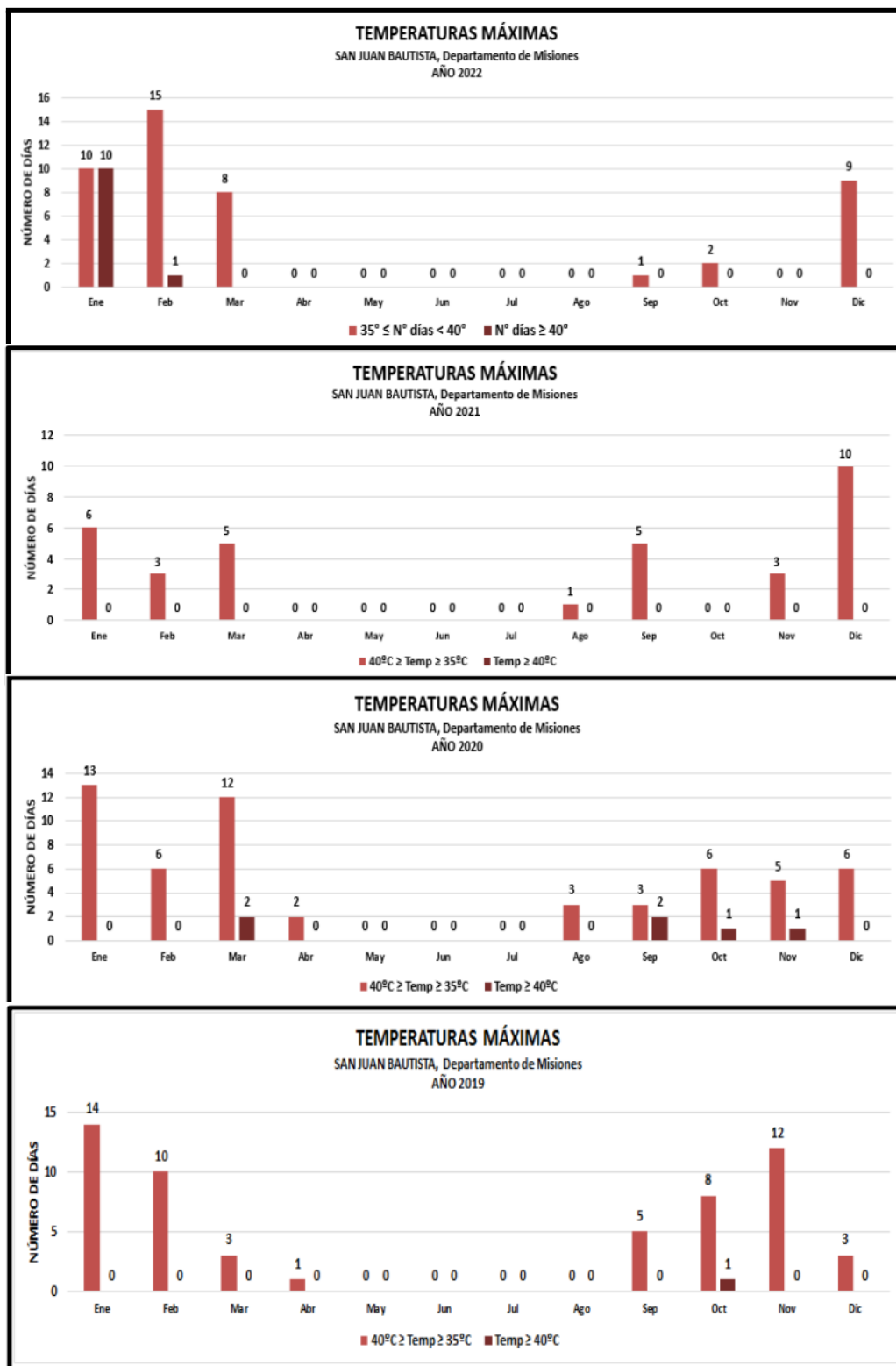
*Figura 16: Incendios en la Reserva Natural Yacyretá*

### Anexo 3. Registros Climatológicos.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1998	-	-	-	-	74	38	195	83	633	1179	410	448	3060
1999	522	320	194	59	152	45	488	5317	4663	2946	1992	733	17431
2000	2122	539	272	242	55	13	102	1215	1956	1248	226	249	8239
2001	226	204	284	134	119	242	1355	4074	2192	1274	606	520	11230
2002	2033	298	606	392	134	278	1101	8670	10349	3819	2144	663	30487
2003	694	604	688	2055	2665	2769	4563	12043	12653	3810	1872	358	44774
2004	1080	1292	2847	828	171	1431	1534	5881	9806	4031	1128	546	30575
2005	405	1667	3067	831	712	621	3223	12097	5134	1754	768	596	30875
2006	1293	1136	669	348	1467	949	4134	10136	6504	1592	786	350	29364
2007	340	462	894	351	590	2917	4301	10144	11518	2913	1599	472	36501
2008	357	800	820	786	1207	445	3995	4305	6783	2156	1518	1852	25024
2009	970	356	1401	3657	857	805	475	4443	2346	2016	1275	344	18945
2010	392	931	820	1161	380	1022	2331	6980	3614	2530	2202	814	23177
2011	437	203	429	474	783	1449	2195	4493	6343	2968	1820	1430	23024
2012	1737	1904	1445	300	405	273	1032	3437	4430	2502	1263	745	19473
2013	2032	1692	1246	763	507	415	2260	5284	5482	2595	2056	874	25206
2014	865	1731	783	467	108	127	713	2524	2086	3044	911	756	14115
2015	697	485	1086	322	251	588	959	2609	3174	1567	755	330	12823
2016	720	447	409	812	334	787	3610	5346	5741	2588	1022	562	22378
2017	828	376	827	230	50	884	5880	5745	5483	2556	1142	547	24548
2018	260	315	184	1072	1181	773	2447	5950	3120	893	412	541	17148
2019	927	1091	723	197	113	1131	2126	5095	6112	3359	1549	400	22823
2020	585	1050	2942	3568	2028	1600	2726	7550	6617	5622	2810	836	37934
2021	279	602	711	663	931	803	4613	9208	3137	1737	893	1552	25129
2022	3901	2200	1148	243	545	388	1407	1905	1624	1089	1592	563	16605
2023	812	979	681	441	482	-	-	-	-	-	-	-	3395
<b>Máximo*</b>	3901	2200	3067	3657	2665	2917	5880	12097	12653	5622	2810	1852	44774
<b>Média*</b>	988	863	1021	831	633	832	2311	5781	5260	2472	1310	683	22836
<b>Mínimo*</b>	226	203	184	59	50	13	102	83	633	893	226	249	3060

Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (s.f.). Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de [https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas\\_paises/](https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_paises/)

Figura 17: Total de incendios activos detectados por satélite en cada mes en Paraguay desde 1998 hasta Mayo 2023



Fuente: Dirección Nacional de Aeronáutica Civil. Dirección de Meteorología e Hidrología. (s.f.). Anuario Climatológico. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de <https://www.meteorologia.gov.py/publicaciones/>

Figura 18: Temperaturas máximas registradas por mes en el Departamento de Misiones, Paraguay (2019-2022)

Anexo 4. Entrevista con el Responsable de Coordinación Logística y Contingencia Ambiental de la EBY, Paraguay - Lic. José Mutti.

*¿Podría hablar sobre la frecuencia de los incendios forestales en la Isla Yacyretá en los últimos años?*

Existe un incremento notorio en la frecuencia de los incendios forestales en la isla en los últimos años, y lo más preocupante es que este problema continuará agravándose a futuro.

*¿Cuál es la situación actual en términos de detección y vigilancia de incendios en la isla?*

Nosotros actualmente utilizamos el sistema satelital de Brasil, el INPE, que nos permite detectar y monitorizar focos de calor. El problema es que la información llega con 24 horas de retraso, y muchas veces cuando nos enteramos el incendio ya se propagó y aumentó mucho su magnitud. La respuesta inmediata es fundamental, por lo que sería bueno tener algún sistema que nos permita obtener información en menos tiempo. Por ejemplo, mediante el control con drones o con alguna tecnología de vigilancia que nos permita monitorizar en tiempo real.

*¿Considera que invertir en prevención y detección temprana podría contribuir a evitar que los incendios se propaguen?*

Totalmente. Trabajando medidas preventivas como la realización de cortafuegos, eliminación de la vegetación y campañas de concientización se podría contribuir a reducir su ocurrencia y minimizar su impacto. Pero si conseguimos detectar a tiempo podríamos mejorar mucho más la respuesta. Trabajar en la detección temprana es esencial para lograr controlar rápidamente las llamas antes que se propaguen y así poder dar una respuesta efectiva.

*¿En qué medida estimaría que la implementación de un sistema de detección temprana de cámaras de vigilancia con detección de humo y alertas ayudaría a mejorar la capacidad de respuesta ante incendios forestales en la isla?*

Es muy difícil estimar un valor exacto, porque depende de muchos factores como la disponibilidad de recursos y la gestión operativa del personal encargado. Pero recibir una alerta temprana nos permitiría movilizarnos a tiempo para dar una respuesta rápida e intervenir en las etapas iniciales del incendio. Se podría estimar que un sistema de detección temprana contribuiría en un 30% en la eficacia de la gestión del incendio, sobre todo en comparación con la situación actual que nos enteramos de los incendios muchas horas después de que se iniciaron.

Contacto:

Lic. José Mutti

Coordinación Logística y Contingencia Ambiental

Entidad Binacional Yacyretá - Paraguay

+595 975 653630

Anexo 5. Entrevista con el Jefe Técnico de Seguridad Industrial en la Isla Yacyretá, Paraguay  
- Ing. José Ruíz Díaz.

*¿Cómo gestionan los incendios forestales en la Isla Yacyretá en la actualidad?*

Los incendios forestales en la isla siempre son un desafío muy difícil de abordar porque nos enfrentamos a condiciones muy adversas que dificultan enormemente el control. Los incendios se expanden rápidamente por los vientos fuertes, con velocidades de hasta 80 o 90 km por hora, que además cambian de dirección constantemente y favorecen mucho la propagación del fuego. En algunas ocasiones hemos tenido que movilizar más de 250 personas trabajando en simultáneo, y es sumamente difícil el trabajo, el personal sufre mucho, porque además del viento hay porcentajes de humedad muy bajos, a veces del 30% y temperaturas altas por encima de los 30 grados que dificultan enormemente el combate.

*¿Cuáles son las limitaciones para la detección temprana de los incendios?*

Existen muchas limitaciones para la detección temprana de incendios forestales tanto a nivel local en la isla como a nivel país. Nosotros solemos llevar a cabo reuniones conjuntas con el INFONA (Instituto Forestal Nacional) para abordar la problemática y compartir la información disponible. Pero, en general, la principal limitación que enfrentamos es la escasa disponibilidad de datos actualizados. Contamos con acceso a datos satelitales que nos proveen de mapas de calor y focos de incendio pero la información siempre nos llega con un retraso de 24 horas.

*¿Se gestionarían mejor los incendios mediante la instalación de tecnologías de detección temprana como cámaras de vigilancia con detectores de humo y sistemas de alerta?*

Por supuesto, la tecnología nos ayudaría enormemente. Instalar cámaras en puntos estratégicos nos permitiría monitorear en tiempo real y poder enterarnos más rápido cuando se detecte humo o fuego para poder intervenir a tiempo antes de que los incendios se propaguen y se vuelvan incontrolables.

*¿Considera viable la implementación de este tipo de soluciones en la isla?*

De hecho que ya contamos con una central de monitoreo porque tenemos cámaras de vigilancia instaladas en la zona de maquinización del brazo Aña Cuá que se está construyendo ahora, y también estamos viendo de instalar cámaras en la zona de generadores. Aunque esas son por motivos de seguridad, nuestro centro ubicado en el puesto 14 está monitoreando constantemente por lo que nos vendría muy bien tener otras que sirvan para vigilar la zona de la reserva y detectar incendios. Estos medios tecnológicos ayudarían bastante en la gestión del fuego y acá contamos con la capacidad técnica para poder instalar y aprovechar.

Contacto:

Ing. José Ruíz Díaz

Seguridad Industrial

Entidad Binacional Yacyretá - Paraguay

Cel: +595 981 556 230



Anexo 6. Entrevista con el Comandante de División de Bomberos en Ciudad del Cabo, Sudáfrica - Steve Abrahamse.

[Entrevista traducida al castellano]

*¿Podría describir brevemente su cargo y responsabilidades?*

Mi nombre es Steve Abrahamse. Soy Comandante de División en los Servicios de Bomberos y Rescate de Ciudad del Cabo, Sudáfrica. He sido bombero durante 47 años: ocupé el rango de oficial superior durante más de 30 años y comandé el Distrito Norte del Área de Bomberos de Ciudad del Cabo. Tengo el Diploma Asociado en Ingeniería de Incendios y Ciencias e Hidráulica de Incendios, que es la calificación más alta en el Servicio de Bomberos de Sudáfrica.

*¿Cómo funciona el Sistema de Prevención Contra Incendios Forestales en Ciudad del Cabo?*

En primer lugar, tenemos un Acuerdo de ayuda mutua con los municipios y ciudades circundantes que son nuestros vecinos en el Cabo Occidental. Esto significa que los ayudaremos a combatir grandes incendios en sus áreas y también podemos pedirles que nos ayuden con grandes incendios. La ciudad de Ciudad del Cabo tiene 33 estaciones de bomberos y tenemos 1 500 bomberos que trabajan en 3 pelotones y trabajan en un turno de 24 horas cada 3 días. Cubrimos una gran área de terreno montañoso dentro de la ciudad, que son los parques de Table Mountain, así como las montañas y bosques circundantes dentro del Cabo Occidental. Trabajamos exactamente con los mismos Principios de Extinción de Incendios en los Bosques que los Estados Unidos de América, utilizando el Sistema de Gestión de Incidentes. Todos los terratenientes y agricultores deben tener cortafuegos alrededor de sus propiedades. Esto es: un terreno despejado alrededor de sus fronteras. También tenemos cortafuegos alrededor de la periferia urbana de la ciudad para evitar que los grandes incendios forestales dañen las propiedades durante las tormentas de fuego. Desde octubre hasta finales de mayo es nuestra temporada de incendios y también tenemos vientos huracanados que llamamos la Pascua del Sur. Durante ese período nadie puede realizar quemas controladas en su propiedad. Además, tenemos un contrato con la empresa que suministra helicópteros de extinción de incendios y cinco de ellos tienen base en la zona para la extinción de incendios forestales y están disponibles las 24 horas con activación inmediata.

*¿Qué medidas son implementadas en la actualidad para la prevención de los Incendios Forestales?*

Tanto la Conservación de la Naturaleza como el Departamento Forestal hacen todo lo posible para controlar la propagación de incendios en los bosques. En primer lugar, intentan deshacerse de los “*Dirty Forests*”. Esos son bosques que tienen árboles muertos y están seriamente cubiertos de maleza y hacen que el acceso sea muy difícil. Además, cuando limpiamos cortafuegos en los bosques, usamos máquinas trituradoras para cortar y triturar la vegetación en pequeños pedazos para convertirlos en fertilizante y también para disminuir la carga de fuego en el área para que los incendios no sean tan intensos. El Equipo de

Conservación de la Naturaleza también tiene Programas de Biodiversidad para proteger las especies de plantas autóctonas y la vida silvestre. Además, existen programas para despejar el área de vegetación exótica para conservar el agua, de modo que la vegetación se mantenga, lo que ralentiza la propagación de los incendios.

*¿Cuentan con alguna tecnología para la Detección Temprana de Incendios Forestales?*

Tenemos cámaras que se colocan en diferentes lugares en la cima de colinas y montañas que están a cargo de personal que constantemente busca humo e inmediatamente se activan los equipos de tierra y si el primer oficial que llega pide apoyo aéreo, inmediatamente se envían los helicópteros a bombardear con agua los incendios, si la vida y la propiedad están en peligro, entonces podemos llamar a las Fuerzas Armadas para que envíen helicópteros, ya que también están equipados con cubos contra incendios y pueden arrojar agua.

*¿Cómo está organizado el equipo encargado de la gestión de los incendios?*

Todos nuestros Bomberos están capacitados en el Sistema de Comando de Incidentes que se usa en los Estados Unidos de América. Durante los grandes incendios forestales en Nebraska, enviamos oficiales superiores para observar y ayudar a fin de llevarnos esa tecnología a casa. Durante grandes incendios forestales prolongados, el Equipo de gestión de incidentes se envía a trabajar en turnos de 24 horas para contener estos incendios. Primero, está el Comandante de Incidentes. Luego, el Oficial de Planificación, el Oficial de Operaciones, el Oficial de Seguridad, el Oficial de Enlaces y el Oficial de Finanzas. Este equipo establece objetivos para controlar el incendio durante períodos de 24 horas. Y mi función normalmente es Oficial de Planificación u Oficial de Operaciones.

Contacto:

Steve Abrahamse

Divisional Commander: ND1

Fire & Rescue Service

Goodwood Fire Station

steve.abrahamse@capetown.gov.za

## Anexo 7. Tecnologías afines.

- *AXIS PTZ Outdoor Network Surveillance Cameras*



Fuente: Axis Communications. (s.f.). Recuperado el 19 de junio de 2023 de <https://www.axis.com/products/axis-q6075-e>

Figura 19: Cámara de la serie *AXIS PTZ Outdoor Network Surveillance Camera*

Este tipo de cámaras de vigilancia han sido implementadas en el sistema *ALERT Wildfire* en California, Estados Unidos.<sup>62</sup> Cuentan con tecnología de tipo *PTZ* (*Pan-tilt-zoom* en inglés), que permite ajustar la posición y acercamiento para mayor visualización. Están equipadas con sensores de imagen térmica y ópticos que permiten detectar incendios y enviar alertas de emergencia. Son específicamente diseñadas para exteriores y cuentan con baterías recargables, además de permitir la incorporación de *módems 4G LTE* para la transmisión de información por red de telefonía para zonas remotas.<sup>63</sup>



Fuente: *North Bay Business Journal* (2020, 10 de Noviembre). Recuperado el 19 de junio de 2023 de <https://www.northbaybusinessjournal.com/article/news/alertwildfire-network-grows-to-610-cameras-in-california/?ref=footer>

Figura 20: Implementación de cámaras de vigilancia en California.

<sup>62</sup> *North Bay Business Journal* (2020, 10 de Noviembre). *AlertWildfire network grows to 610 cameras in California*. Recuperado el 19 de junio de 2023 de

<https://www.northbaybusinessjournal.com/article/news/alertwildfire-network-grows-to-610-cameras-in-california/?ref=footer>

<sup>63</sup> Axis Communications (s.f.). *AXIS Q6075-E PTZ Network Camera*. Recuperado el 19 de junio de 2023 de <https://www.axis.com/products/axis-q6075-e>

- *FLIR Triton™ PT-Series HD*



*Fuente: Teledyne FLIR. (2019, 14 de Septiembre). Recuperado el 21 de junio de 2023 de <https://www.flir.com/discover/security/flir-helps-prevent-wildfires/>*

*Figura 21: Implementación de cámaras de vigilancia FLIR Triton™ PT-Series HD en Puglia, Italia.*

Este tipo de cámaras están diseñadas específicamente para la detección temprana de incendios forestales a través de tecnología termográfica de alta resolución, que combina sensores térmicos con sensores de imágenes de luz visible y un sistema de giro/inclinación con precisión de alta calidad. Permite la incorporación de sensores de humo para su detección incluso en condiciones de baja iluminación y puede enviar alertas de emergencia. Poseen una carcasa resistente a condiciones climáticas adversas y pueden transmitir la información a través de redes de telefonía celular.<sup>64</sup> Han sido implementadas en la región italiana de Puglia, en un esfuerzo por proteger los bosques de la zona, y hasta la fecha han contribuido a una mayor optimización del combate contra los incendios y ayudado a salvar miles de acres de bosque.<sup>65</sup>

---

<sup>64</sup>Teledyne FLIR. (s.f.). *Serie PT HD*. Recuperado el 21 de junio de 2023 de <https://www.flir.com/products/pt-series-hd/>

<sup>65</sup>Teledyne FLIR. (2019, 14 de septiembre). *FLIR ayuda a prevenir incendios forestales en el sur de Italia*. Recuperado el 21 de junio de 2023 de <https://www.flir.com/discover/security/flir-helps-prevent-wildfires/>

- *DAHUA Bullet 4G Solar Power Network Camera*



*Fuente: Dahua Technology. (s.f.). Recuperado el 22 de junio de 2023 de <https://www.dahuasecurity.com/es/products/All-Products/Network-Cameras/Wireless-Series/4G-Camera/IPC-HFW2431DG-4G-SP-LA-B>*

*Figura 22: Cámara de vigilancia Dahua de la serie Bullet 4G Solar Power Network*

Este tipo de cámaras pueden ser utilizadas para la detección de incendios forestales en áreas remotas, de manera independiente, es decir sin estar conectadas a una fuente de alimentación gracias a su sistema independiente con panel solar y batería incorporados. Cuentan con sensores infrarrojos y sensores de calor capaces de detectar diferencias en la temperatura ante la presencia de fuego. Incluyen sistema de alerta automático que puede enviar mensajes vía SMS o notificaciones de correo electrónico y pueden conectarse a internet utilizando la red de telefonía celular 4G LTE.<sup>66</sup> Tecnologías de video monitorización de la marca china *Dahua* han sido implementadas en diferentes países como Sudáfrica, Brasil y Chile para la detección temprana de incendios forestales.<sup>67</sup>

---

<sup>66</sup> Dahua Technology. (s.f.). *IPC-HFW2431DG-4G-SP-LA-B*. Recuperado el 22 de junio de 2023 de <https://www.dahuasecurity.com/es/products/All-Products/Network-Cameras/Wireless-Series/4G-Camera/IPC-HFW2431DG-4G-SP-LA-B>

<sup>67</sup> Dahua Technology. (2020, 15 de mayo). *Duratex implementa la solución de monitoreo de video Dahua para detectar incendios en una etapa temprana*. Recuperado el 22 de junio de 2023 de <https://www.dahuasecurity.com/es/newsEvents/successStories/137/997>

Anexo 8. Mapa de áreas inundadas para la construcción del Embalse Yacyretá.

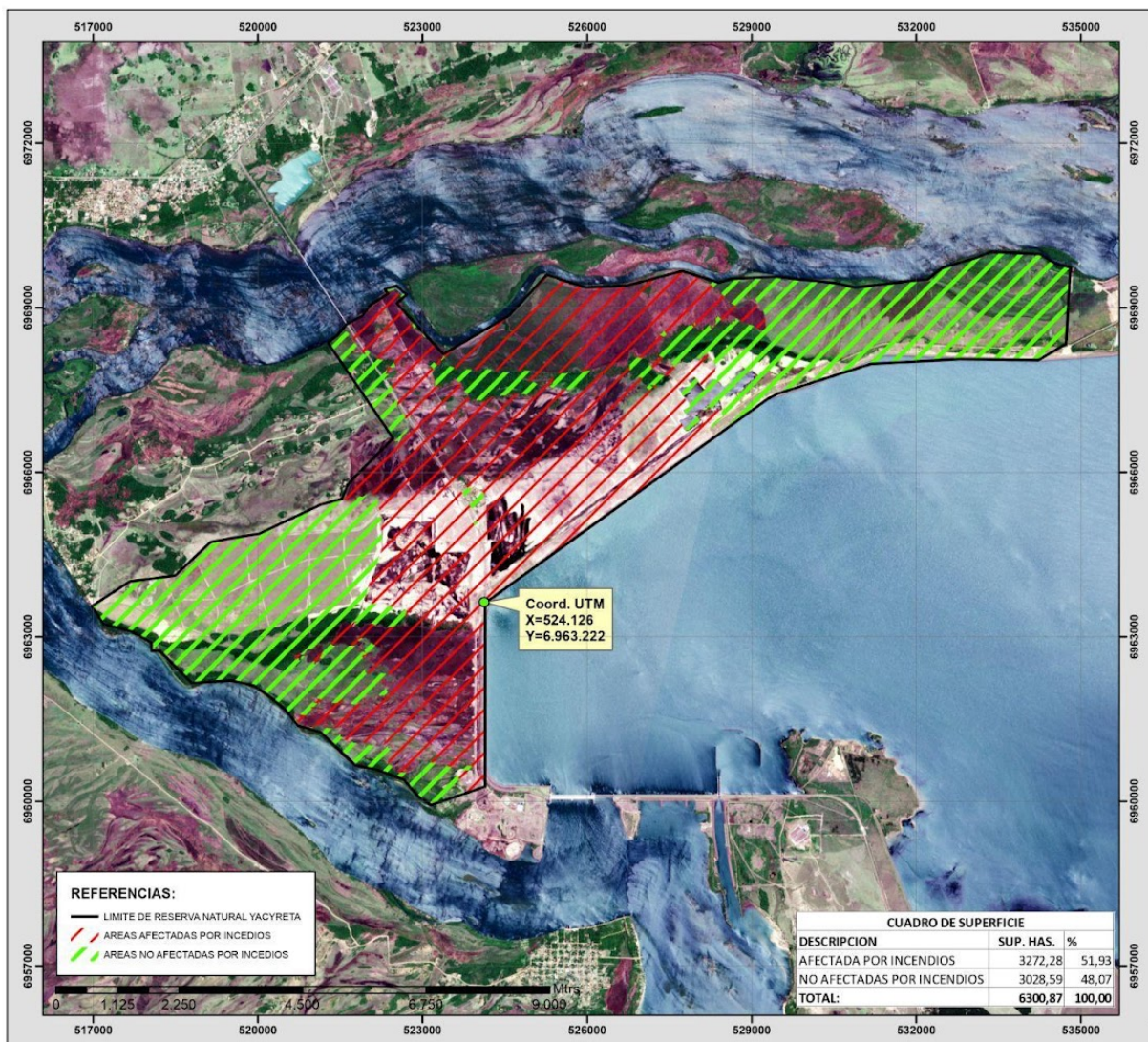


Fuente: HCDN (Argentina). (s.f.). Recuperado el 23 de junio de 2023 de <https://www4.hcdn.gob.ar/proyxml/4583D2012.jpg>

Figura 23: Mapa de áreas inundadas para la construcción del embalse Yacyretá.



Anexo 9. Mapa de áreas afectadas por incendio en noviembre de 2020 en la Isla Yacyretá.



Fuente: Entidad Binacional Yacyretá. Gestión Ambiental (Argentina). Recuperado el 22 de junio de 2023.

Figura 24: Mapa de áreas afectadas por incendio en noviembre de 2020 en la Isla Yacyretá.