

**44 REUNIÓN DEL COMITÉ
CONSULTIVO PERMANENTE II:
RADIOCOMUNICACIONES
23 al 27 de septiembre de 2024
Mérida, México**

**OEA/Ser.L/XVII.4.2.44
CCP.II-RADIO/doc. 6169/24
19 setiembre 2024
Original: Español**

**TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA GESTIÓN DEL ESPECTRO
Y EL MONITOREO CON UNA RED DE PRÓXIMA GENERACIÓN
POTENCIADA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)**

(Punto del temario: 3.3)

(Documento presentado por la Delegación de Uruguay)

Impacto en el sector:

En el año 2023, la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones (URSEC) implementó "Espectro Visor", una plataforma innovadora que ha modernizado y simplificado la gestión del espectro en Uruguay. Esta herramienta ha permitido a la URSEC visualizar de manera gráfica la ocupación del espectro, mejorando la precisión de su base de datos, automatizó los análisis técnicos para la asignación de frecuencias, lo que ha incrementado significativamente la productividad de sus expertos. Además, "Espectro Visor" ha integrado una red de próxima generación potenciada por IA, que ofrece cobertura nacional para el monitoreo continuo del espectro y la detección automática de emisiones no autorizadas. Con esta plataforma, la URSEC no solo gestiona el espectro de manera más eficiente, sino que también busca simplificar la coordinación internacional, optimizando tanto sus recursos humanos como los montos de inversión.

Resumen Ejecutivo:

El "Espectro Visor" es una plataforma web responsive de última generación, basada en la nube y respaldada por tecnología 4.0, cuidadosamente revisada y avalada por los expertos de URSEC, permite consultar la ocupación del espectro y realizar análisis de interferencia y coberturas para validar la viabilidad de asignar una frecuencia para su uso, puede ser accesada desde el navegador de un computador de escritorio, portátil o desde un dispositivo móvil inteligente y sin límite de accesos. La plataforma se integra de manera dinámica con el sistema de gestión del espectro y la red de monitoreo para identificar en línea emisiones no autorizadas y localizar emisiones del servicio de radiodifusión sonora en FM utilizando Inteligencia Artificial.

El Marco Legal y Regulatorio de la Gestión del Espectro en Uruguay

La gestión del espectro radioeléctrico en Uruguay está regida por un marco legal y regulatorio, que tiene como objetivo garantizar la eficiencia en el uso de este recurso limitado, así como la transparencia en los procesos de su administración.

En el contexto del marco legal y reglamentario vigente, a la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones (URSEC) genéricamente le compete, entre otras responsabilidades, la administración, gestión, regulación y supervisión del uso del espectro radioeléctrico y de las órbitas satelitales.

Descripción de la Necesidad

La URSEC sujeta a: i) limitaciones presupuestales; ii) dotación menguada de funcionarios con formación especializada en la temática y iii) necesidad de aumentar las capacidades tecnológicas para el cumplimiento de sus cometidos en un entorno dinámico y de fuerte desarrollo en los servicios y sistemas de radiocomunicaciones, necesitaba disponer de una plataforma que fuera accesible tanto local como remotamente, fácil de usar, y que permitiera realizar análisis automáticos de interferencias para las nuevas asignaciones de frecuencias, además de ser parametrizable con su herramienta de ingeniería existente. Paralelamente, requería una solución de monitoreo que le permitiera modernizar su red nacional, aprovechando la infraestructura existente, y extender su área de supervisión a más bandas de frecuencias. La solución debía tener la capacidad de identificar automáticamente emisiones no autorizadas, garantizando así una gestión eficiente del espectro radioeléctrico en todo el país.

Descripción de la solución Implementada

La respuesta a estos desafíos fue el “Espectro Visor” una plataforma web responsive de última generación, basada en la nube y respaldada por tecnología 4.0, cuidadosamente parametrizada por los expertos de la URSEC, la cual puede ser accedida desde el navegador de un computador de escritorio, portátil o desde un dispositivo móvil inteligente y sin límite de accesos. La plataforma se integra de manera dinámica con la base de datos del sistema de gestión del espectro, actualizándose automáticamente para reflejar cualquier cambio o nueva asignación de frecuencias.



Esta plataforma, permite consultar en línea la ocupación del espectro en el servicio de su interés, la consulta se lleva a cabo en un entorno gráfico que permite desde cualquier navegador, ver en un mapa de manera georeferenciada los emisores de manera gráfica e interactiva incluida su área de servicio cuando es el caso.

Cada emisión autorizada se representa en el mapa como un punto al cual se le hace clic y brinda toda la información técnica y administrativa relacionada con su concesión, pero también se puede ver la información en una tabla al pie del mapa que permite hacer diferentes filtros con cada columna de información, con esta tabla se habilitó la posibilidad de bajar en línea toda esa información en una hoja de excel que refleja lo que está seleccionado en pantalla. Esto facilita la realización de análisis autónomos e independientes de interferencias y coberturas, la interfaz también muestra estadísticas de uso y distribución de emisoras por departamento y municipio, por tipo de emisión y las frecuencias que han sido asignadas incluidas las veces que se repiten.

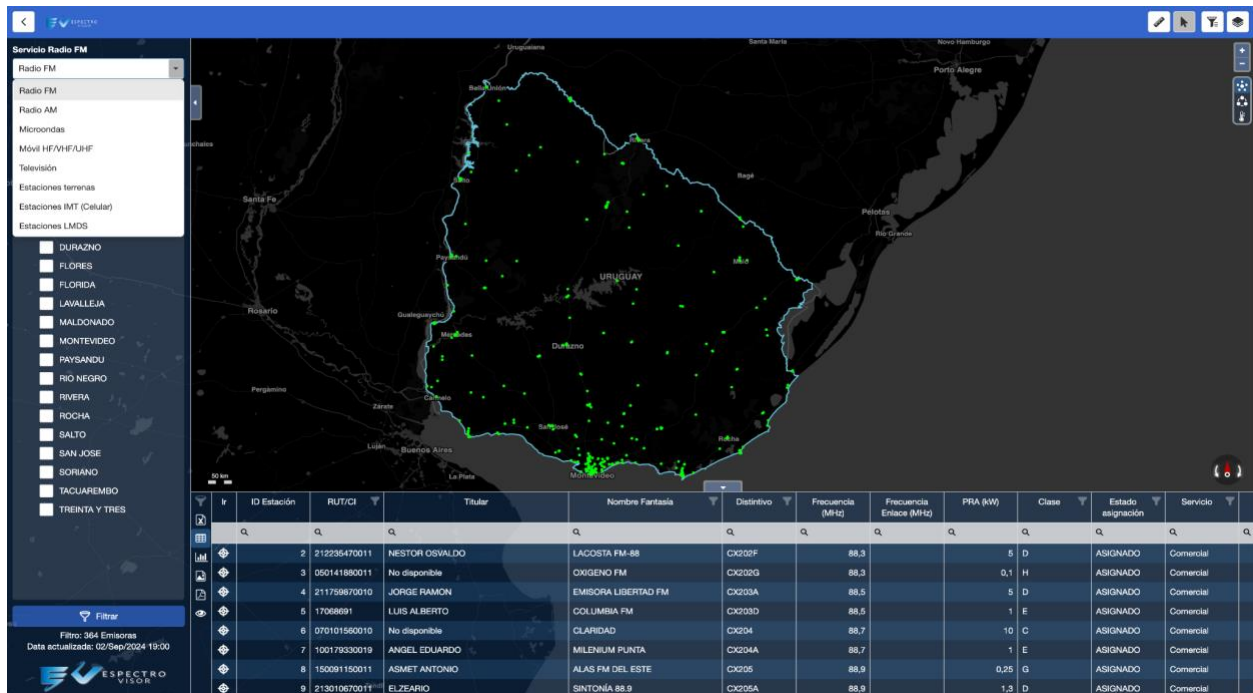


Imagen 1 - Estaciones en el servicio de radiodifusión FM

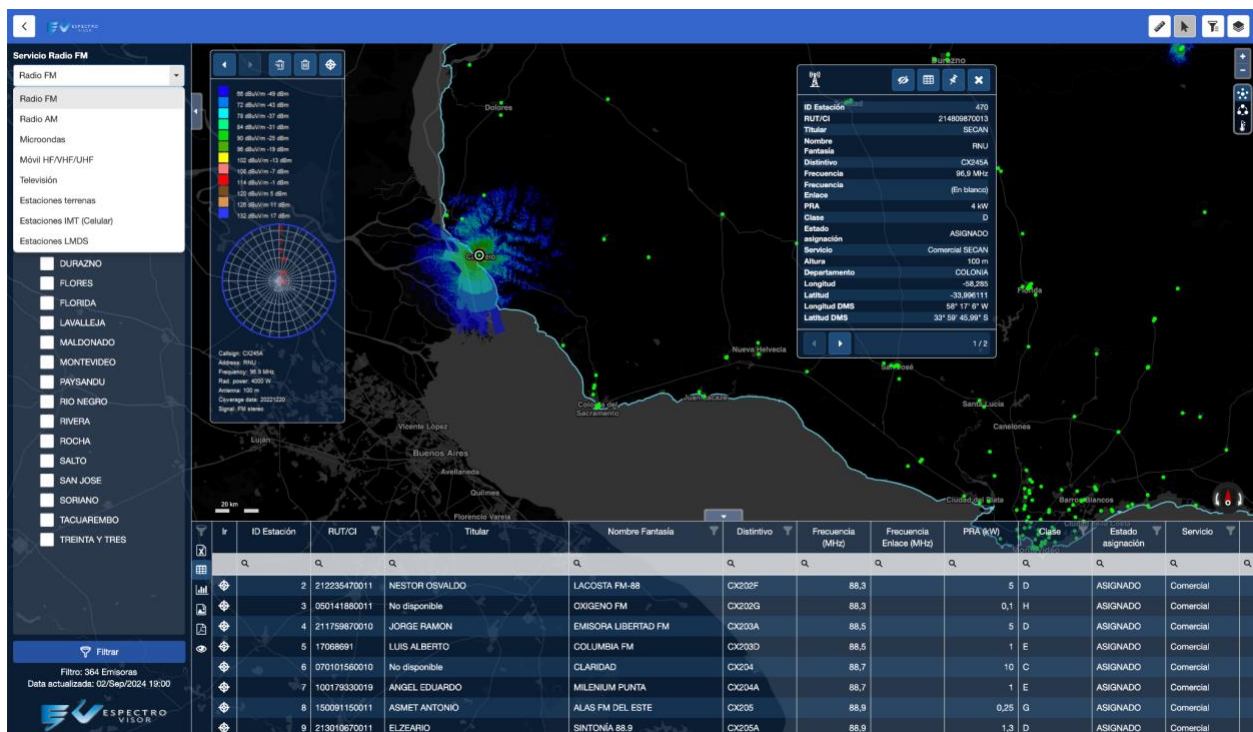


Imagen 2 - de manera interactiva se puede ver la información de las estaciones y su área de servicio

La plataforma permite realizar en línea de manera fácil y rápida la simulación de coberturas y el análisis de interferencias para enlaces de microondas, estaciones de radiodifusión de AM, FM, TVA, TDT y estaciones de radiocomunicaciones en las bandas de VHF y UHF para validar si un canal radioeléctrico es viable o no.

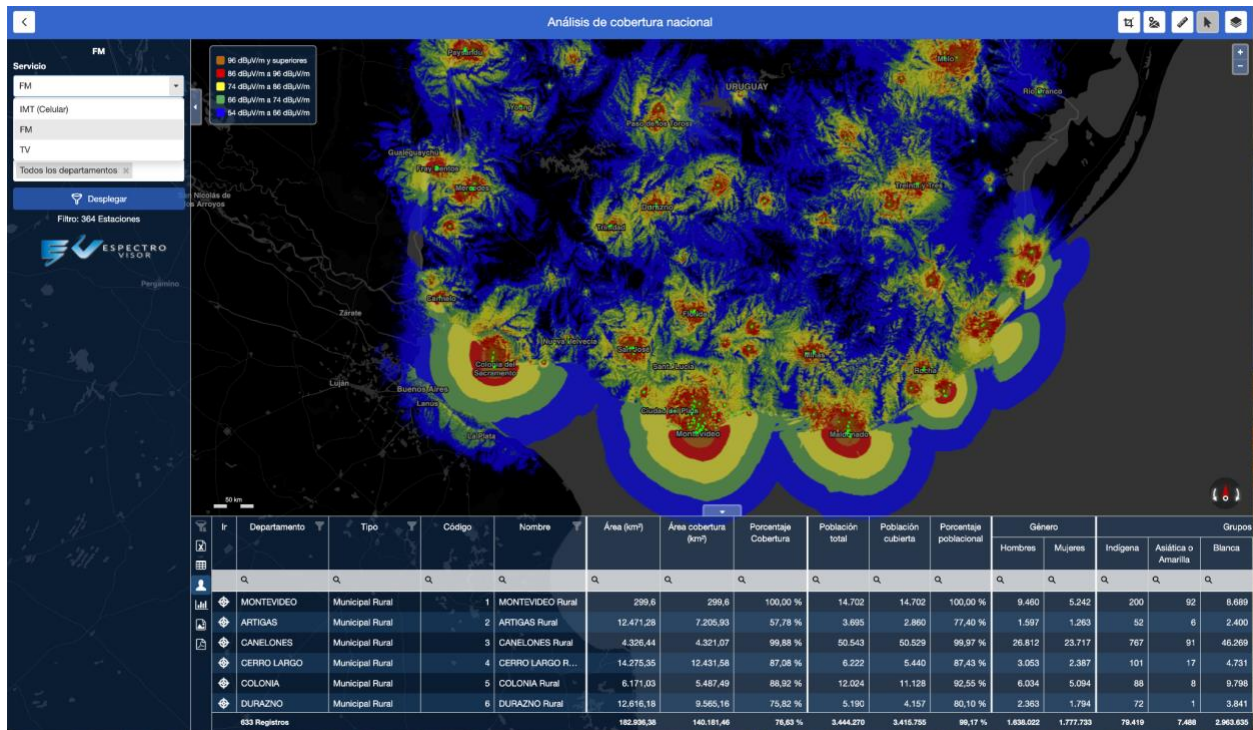


Imagen 3 - Cobertura Nacional FM indicando área y población total cubierta por el servicio

Consolidación de una red de monitoreo de próxima generación

Una de las mayores innovaciones incorporadas por la URSEC con el “Espectro Visor” es el “Centro de Fusión y Monitoreo (CFyM)” que facilitó la implementación de una red de nacional de monitoreo heterogénea que integra las estaciones fija y móvil “tipo UIT” con sensores de bajo costo y alto desempeño. Los sensores monitorean de forma continua 24x7 las bandas del espectro que se le han programado las cuales se procesan por un minicomputador conectado al sensor que reporta la información cada hora al servidor del CFyM y permite identificar la ocupación del espectro y detectar automáticamente emisiones no autorizadas.

El CFyM aprovecha las tecnologías 4.0 y está equipado con varios macroprocesos que trabajan en conjunto para recopilar, procesar y analizar datos sobre el uso del espectro radioeléctrico, los cuales se describen a continuación:

Gestión y Control de las estaciones monitoras: Gestiona y controla la red de estaciones que llevan a cabo el monitoreo continuo del espectro. Incluye la integración con sistemas existentes tipo UIT, las estaciones más compactas se denominan sensores y están compuestos por receptores digitales compactos, antenas y un minicomputador con conexión a internet.

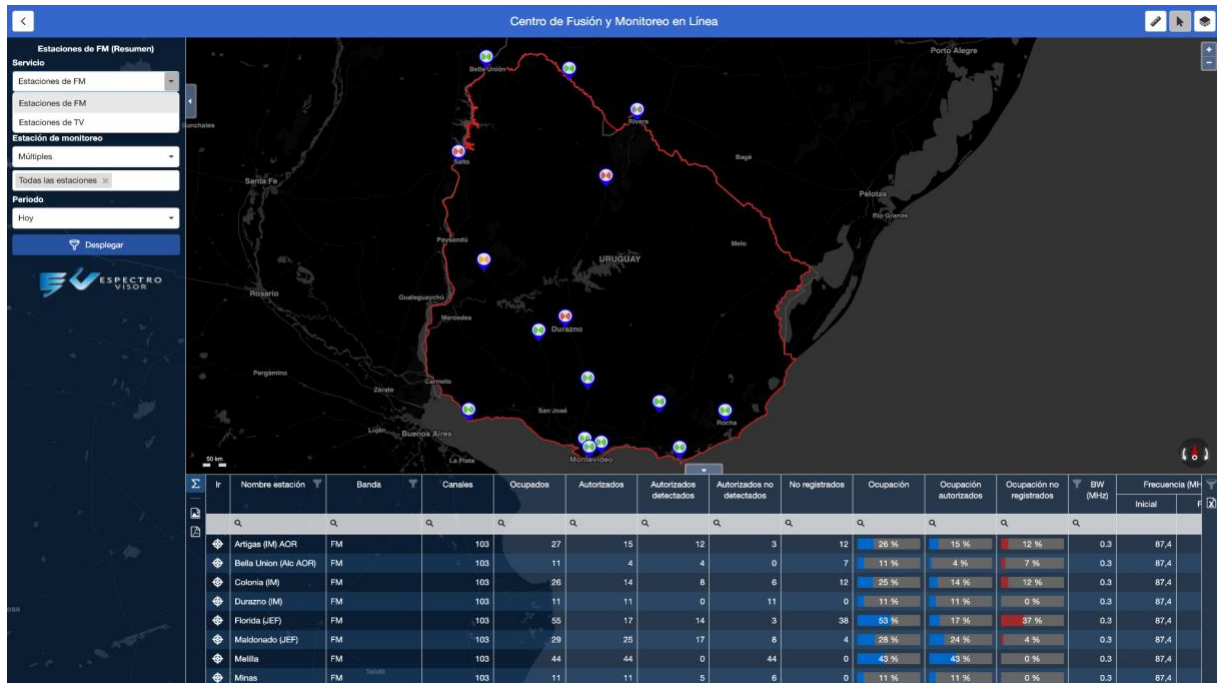


Imagen 4 - Red Nacional de monitoreo de Uruguay, cada icono es un sensor

Monitoreo y proceso de la información: El minicomputador que forma parte de los sensores cuenta con drivers especializados para comandar las mediciones en diferentes bandas del espectro y es el dispositivo que lleva a cabo el “edge computing”, analiza, procesa y comprime la información de ocupación del espectro en las bandas seleccionadas para reportarla periódicamente (cada hora) al servidor del CFyM.

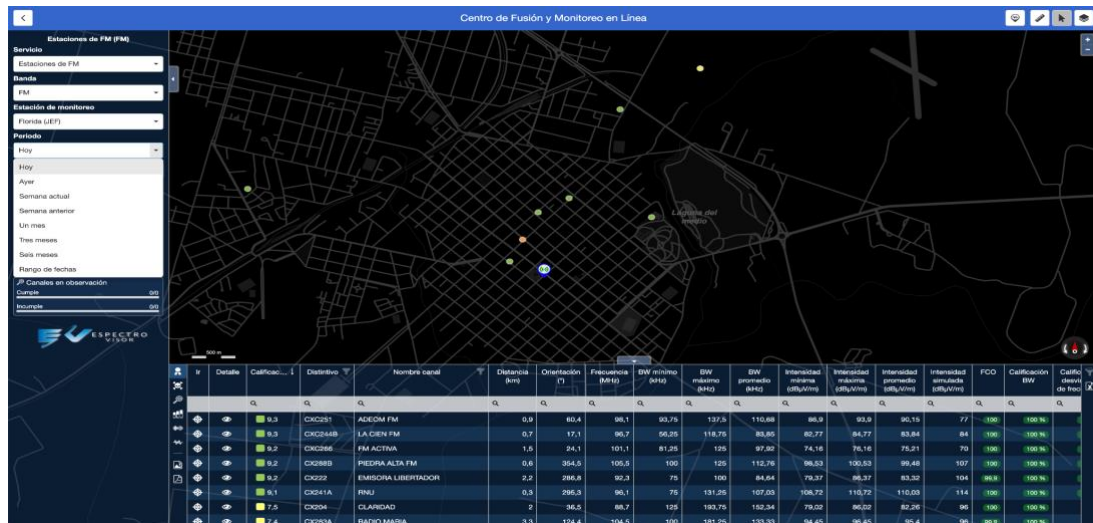


Imagen 5 - La estaciones se sincronizan cada hora para subir la información

Almacenamiento de Datos: Los datos procesados que se reciben de los sensores se almacenan en el servidor del CFyM, se analizan en línea para visualizarlos en la plataforma. El almacenamiento estándar es de un año y está dimensionado para 100 sensores aunque su número puede ser mucho

mayor, se utilizan técnicas muy eficientes de compresión para que la información histórica pueda ser consultada en línea y en segundos.



Imagen 6 ; Presentación en línea de resultados históricos de un canal en la banda de UHF

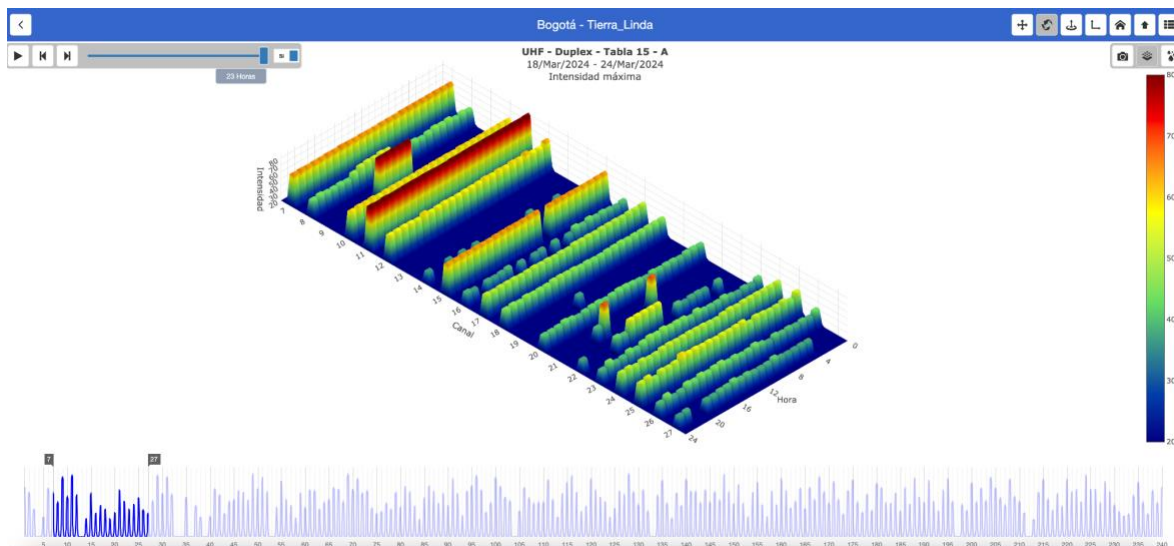


Imagen 7; Presentación en línea de resultados históricos de 240 canales en la banda de UHF

Análisis y Visualización: Integra la información técnica de la base de datos de concesiones del sistema de gestión del espectro con la información de los sensores, tiene sus propios motores de simulación de radio propagación para llevar a cabo los análisis espaciales de coberturas versus lo que detectan los sensores, realiza los cruces de información para identificar patrones y presenta las salidas en una interfaz gráfica de usuario (GUI) amigable, que permite visualizar de manera muy sencilla la ocupación de las diferentes bandas del espectro resaltando las emisiones no autorizadas. Incluye herramientas de análisis estadístico y visualización de datos.

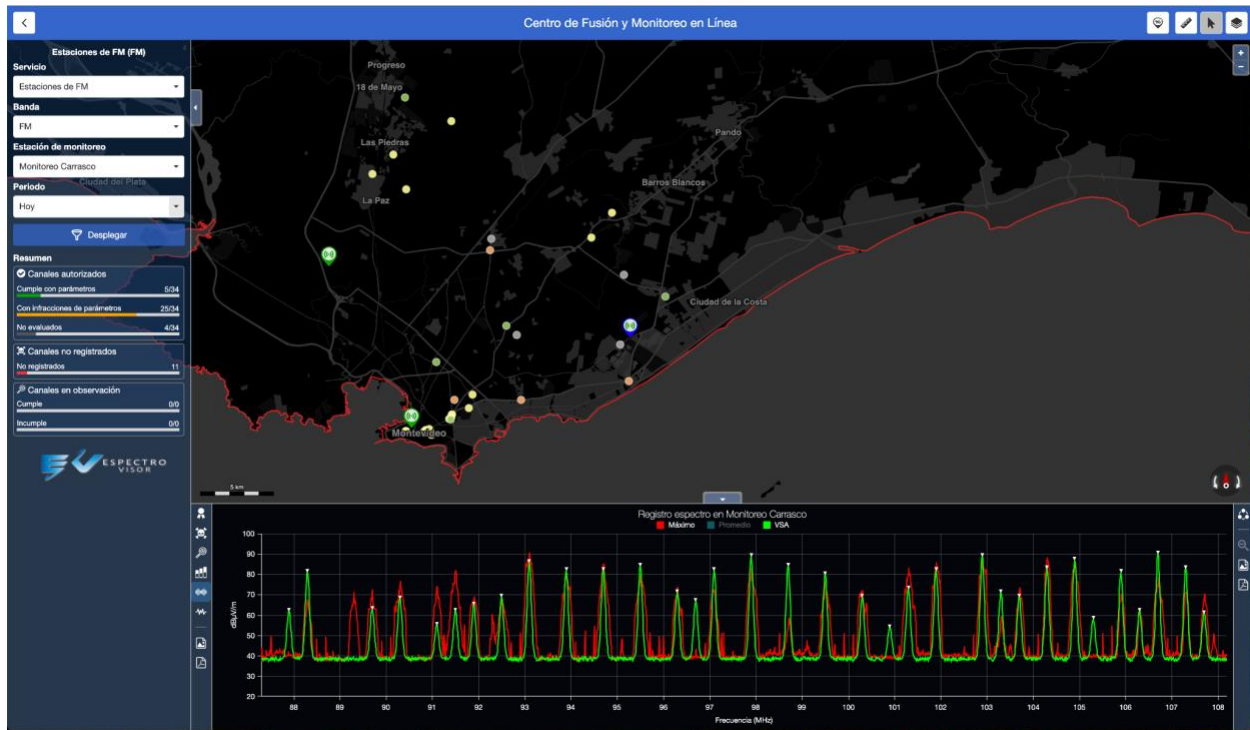


Imagen 8; en verde emisiones autorizadas

Inteligencia Artificial (IA) para localizar emisiones en la banda de frecuencias de radiodifusión sonora de FM

Esta nueva capacidad (en fase de prueba) aprovecha el poder del aprendizaje de máquina (ML - *Machine Learning*) para predecir valores y comportamientos al identificar patrones y relaciones en los datos e históricos de las señales recibidas, permitiendo desarrollar funciones, en particular, localizar emisiones de señales medidas.

Esta integración de IA en el Centro de Fusión y Monitoreo (CFyM) representa un paso adelante en la capacidad de la plataforma para monitorear y gestionar eficazmente el espectro radioeléctrico. Al combinar las tecnologías 4.0 con la IA, se da un paso en la evolución de poderosas funcionalidades para enfrentar los desafíos cada vez mayores en la gestión y supervisión del espectro radioeléctrico.

La IA se describe como el estudio y desarrollo tecnológico enfocado en crear sistemas y máquinas capaces de imitar o replicar comportamientos considerados inteligentes, como aprender, adaptarse, resolver problemas y tomar decisiones en diversas situaciones, no solo basadas en datos históricos (como el ML), sino también en conocimientos previos, contexto y habilidades de adaptación a nuevas circunstancias. En este contexto, se han establecido escenarios de prueba en diversas ciudades de las Américas, entre ellas, Montevideo.

El CFyM emplea la información de la intensidad de señal registrada por tres o más sensores distribuidos en áreas urbanas o rurales. Con base en los datos de medición almacenados en el servidor del CFyM se generan modelos de predicción de la propagación mediante algoritmos de aprendizaje de máquina. Estos

modelos se utilizan para la localización de emisiones. A medida que se recopila una mayor cantidad de datos del entorno, estos modelos se vuelven a entrenar, se ajustan y mejoran su precisión.

El proceso desarrollado para la predicción de la ubicación de estaciones de FM utilizando IA apoyada en *machine learning* y técnicas de multilateración se describe a continuación:

Datos de mediciones del espectro radioeléctrico: Se obtienen mediciones continuas del espectro radioeléctrico utilizando al menos tres sensores distribuidos en un área urbana o rural. Estas mediciones proporcionan información sobre la potencia de las señales detectadas en diferentes frecuencias y ubicaciones.

Preprocesamiento de datos: Antes de entrenar el modelo de IA, se realiza un preprocesamiento de los datos para limpiarlos y prepararlos para su uso en el modelado. Esto incluye filtrado de ruido, normalización de las mediciones y codificación de la información geoespacial de las estaciones de FM.

Elección del algoritmo de aprendizaje automático: Después de varias pruebas y ensayos se seleccionó un algoritmo de aprendizaje automático adecuado para el problema de predicción de ubicaciones. Dado que se trata de una tarea de regresión espacial, se utilizan técnicas de regresión.

Entrenamiento del modelo: Se entrenó el modelo utilizando mediciones del espectro radioeléctrico y las ubicaciones conocidas de las estaciones de FM. Durante el entrenamiento, el modelo aprende a relacionar la potencia de las señales recibidas con las ubicaciones de las estaciones de FM utilizando técnicas de multilateración.

Evaluación del modelo: Después del entrenamiento, se evalúa el rendimiento del modelo utilizando datos de validación que no se utilizaron durante el entrenamiento. Esto permite confirmar que el modelo puede predecir la ubicación de estaciones de FM enmarcándola en un círculo de probabilidad de hasta 500 metros de radio, basándose en la potencia de las señales recibidas.

Ajuste del modelo: Se realizan ajustes adicionales al modelo para mejorar su rendimiento, incluyendo el ajuste de los hiperparámetros del algoritmo y la recopilación de más datos para mejorar la precisión de las predicciones, así como la medición y caracterización del offset de los sensores.

Despliegue y uso: La versión beta implementada en el CFyM ya realiza la predicción en tiempo real de la ubicación de estaciones de FM basada en mediciones continuas del espectro radioeléctrico. La funcionalidad se ha probado en Montevideo y también en Bogotá y Montevideo, con resultados satisfactorios considerando la diferencia en topografía y distribución de las emisoras de FM entre ambas ciudades.

Descripción de la Funcionalidad:

Localización de emisiones de FM en la ciudad de Montevideo, capital de Uruguay y su entorno. El algoritmo ya ha sido entrenado, permite predecir la ubicación de la emisión si los 3 receptores digitales compactos distribuidos como se indica en la Imagen 9, registran la señal.

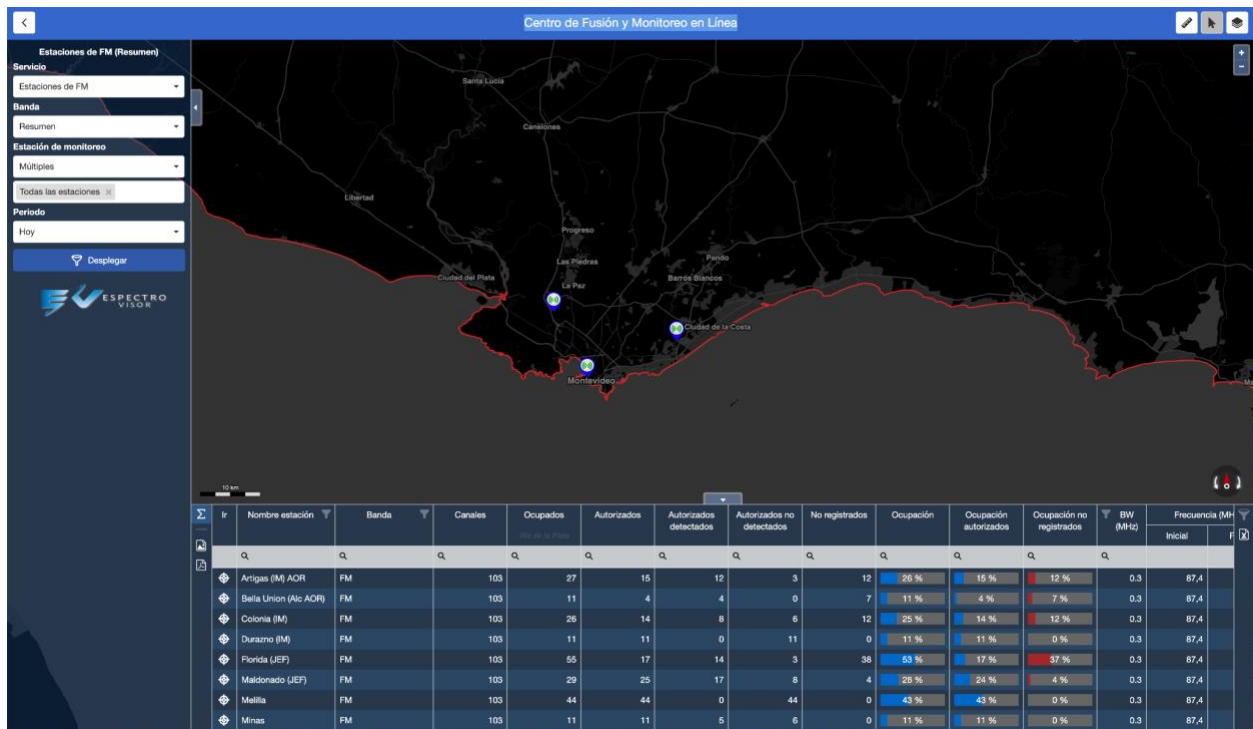


Imagen 9; Localización de los tres receptores compactos

Cuando el Centro de Fusión y Monitoreo se pone en modo IA, se activa la vista de la Imagen 10. Todas las emisiones que se registran y visualizan, que tienen un triángulo invertido en el pico de la señal indica que es localizable, los triángulos blancos indican emisiones autorizadas y los triángulos invertidos rojos son emisiones discrepantes, cuando los triángulos se resaltan indica que es la señal que se ubica en el mapa, las señales marcadas con una “x” indica que no son localizables porque no se reciben en los tres receptores y se mantiene la misma convención de color. En la medida en la que se instalen más receptores compactos sobre el área de interés las “x” desaparecerán, por ejemplo receptores distribuidos estratégicamente alrededor de las pistas del aeropuerto permitirán minimizar la amenaza de emisiones que interfieran con las comunicaciones aeronáuticas.

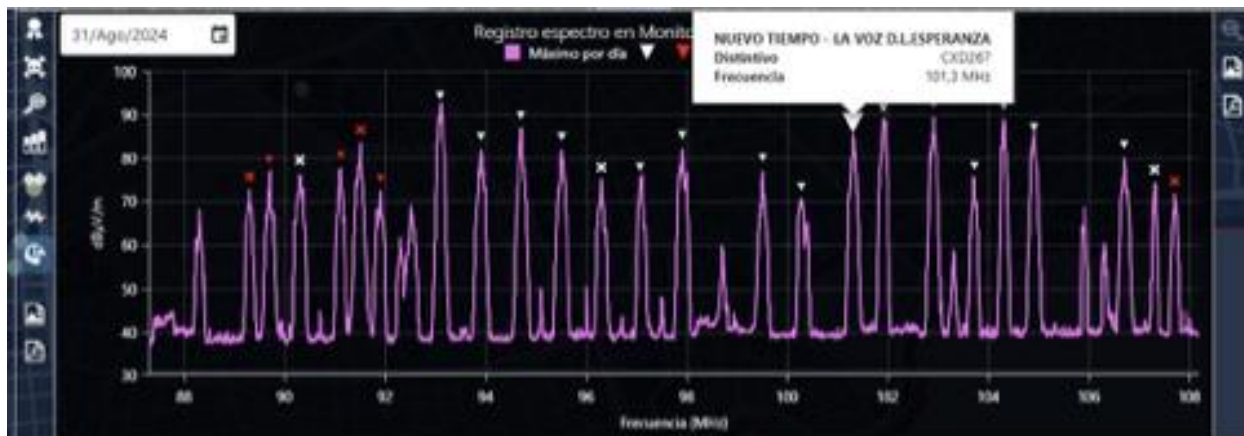


Imagen 10; Centro de Fusión y Monitoreo en modo IA



Imagen 11; Localización de una emisión autorizada en un radio de 500 metros (color verde) a menor de 50 metros (color rojo)

La localización de emisiones autorizadas, de las cuales se conocen las coordenadas permite validar la precisión del algoritmo de IA.

Con estas nuevas facilidades localizar e identificar un emisor interferente en la banda de FM se vuelve mucho más rápido y eficiente ya que la unidad móvil que se traslada para la identificación del emisor se vuelve mucho más asertiva.

Implementación y Resultados: La introducción del "Espectro Visor" ha tenido un buen impacto en la modernización de la gestión del espectro en Uruguay, y se visualiza que a medida que se potencian las adecuaciones tecnológicas, regulatorias y de procedimientos técnico-administrativos aumenta la eficacia y eficiencia.

Hay un nuevo paradigma en la gestión y monitoreo del espectro con el uso de sistemas inteligentes, sencillos de implementar y de muy fácil utilización que aprovechan los sistemas existentes, con enfoque en la información para la acción y orientadas al usuario no especializado.

La IA permite desarrollar nuevas capacidades para potenciar la vigilancia y control del espectro y optimizarlo, la ruta ya está trazada, la utilización de esta tecnología irá avanzando con el paso de los días

Lecciones Aprendidas y Recomendaciones: Consideramos que la experiencia recogida en Uruguay demuestra que la transformación digital se puede lograr en tiempos muy cortos y con una baja inversión.

Invitamos a los miembros de la CITEU a explorar y considerar la implementación de pilotos de la plataforma para evaluar sus funcionalidades, el impacto que conlleva en la labor cotidiana, en tanto solución idónea, eficiente y de bajo costo para modernizar la gestión del espectro, incluyendo la simplificación en la coordinación internacional bilateral de estaciones y frecuencias radioeléctricas de servicios terrestres.

---O---