

Geotecnología, geolocalización, GIS, sensores remotos, drones, observación de la Tierra, imágenes satelitales, análisis espacial.

# Portal web para el monitoreo satelital de vegetación en Patagonia

Por **Patricio García Bes** y **Fernando García** (Pan American Energy)

**E**l área de trabajo se ubica en la Patagonia argentina. En los yacimientos que Pan American Energy (PAE) opera en las provincias de Chubut y Santa Cruz en Cerro Dragón, Meseta Cerón Chico y Piedra Clavada-Koluek Kaike. Las áreas se encuentran en el distrito florístico golfo de San Jorge (Soriano, 1956 y León *et al.*, 1998). El paisaje está principalmente compuesto por estepas arbustivas y estepas gramíneo-arbustivas (Beeskow *et al.*, 1987 y Soriano, 1956). Los otros yacimientos son los que PAE opera en la provincia del Neuquén (Aguada de Castro, Aguada Pichana Oeste, Aguada Canepa, Bandurria Centro, Coirón Amargo Sureste y Lindero Atravesado).

Estas áreas se encuentran en la provincia fitogeográfica del monte (Cabrera, 1971) donde las comunidades vegetales más frecuentes se corresponden con formaciones de estepas, y también se pueden encontrar estepas arbustivas y matorrales plenamente adaptadas a un clima sujeto a sequías periódicas.

El desarrollo de las actividades humanas implica cambios en el uso de la tierra, la actividad petrolera no es una excepción y trae aparejada modificaciones en la cubierta vegetal.

El entorno naturalmente cuenta con procesos que, con el paso del tiempo, intentan recuperar la condición



La herramienta digital que desarrolló Pan American Energy para realizar un seguimiento efectivo y eficiente de la recomposición de vegetación que se lleva a cabo en las locaciones y los caminos donde opera, con el fin de entender y documentar su dinámica.

de vegetación inicial pero la velocidad de esta recuperación para el caso de ambientes desérticos, como el de la Patagonia, requiere tiempos prolongados (Castro Dassen *et al.*, 2006).

Dentro de los procedimientos y las actividades de rutina desarrolladas por PAE, se realizan tareas que apuntan a minimizar el impacto y, en este caso, recomponer la vegetación preexistente en los achiques de locaciones, cierre de caminos y pistas.

Se plantea así el desafío de realizar el seguimiento de la evolución de la vegetación en todos los sitios intervenidos de una manera eficiente y rápida con el obje-

tivo de poder entender y documentar la dinámica de la revegetación. En otras palabras: ¿cómo hacer un seguimiento efectivo y eficiente sobre una gran cantidad de sitios donde se realizan acciones para la recuperación de la vegetación?

## Metodología

A partir de 2014, PAE desarrolló una metodología que, con el avance tecnológico de las imágenes satelitales y su combinación con antiguas prácticas de agricul-

tura, genera índices de vegetación que permiten medir e interpretar los cambios interanuales de la cobertura vegetal en toda la superficie de los yacimientos.

La solución finalmente implementada tiene dos componentes principales: a) los índices de vegetación propiamente dichos y b) un portal web.

## Índices de vegetación

La cantidad, la calidad y el desarrollo de la vegetación puede estimarse a través de sensores remotos aprovechando los rangos espectrales donde el comportamiento típico de la vegetación en su interacción con la energía electromagnética pueda ser detectado y medido (Paruelo, 2008).

Según Jensen (1996) y Townshend (1986), a diferencia de otros componentes terrestres, la vegetación refleja muy poco de la energía electromagnética incidente en el espectro del rojo porque la absorben para el proceso de fotosíntesis, y reflejan gran parte de la energía incidente en el infrarrojo cercano para evitar un recalentamiento peligroso para la planta (Lillesand *et al.*, 1994).

Al considerar que esa energía reflejada es captada por los sensores remotos y la intensidad de su señal es codificada en números enteros, se pudieron desarrollar fórmulas y modelos matemáticos específicos para medir la mayor o la menor presencia de vegetación sobre la superficie terrestre. Estos modelos son llamados índices de vegetación, y existen diferentes fórmulas que se pueden aplicar en ambientes semiáridos y áridos como los que se encuentran en nuestra Patagonia.

Para la obtención de los índices de vegetación se buscó una constelación de satélites multiespectrales que cuente con la cobertura espectral que asegure la confección de todos los índices de vegetación y con una resolución de pixel que permita detectar las intervenciones realizadas en el campo. Inicialmente en 2014 se utilizaron imágenes satelitales de resolución de 5 m/pixel y a partir de 2020 tienen 3 m/pixel.

Uno de los índices de vegetación más usados y probados por su sencillez de cálculo y fiabilidad es el de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés). En la figura 1 se muestra el NDVI de un sector de Koluel Kaike (Santa Cruz) junto al color verdadero compuesto de la imagen satelital correspondiente.

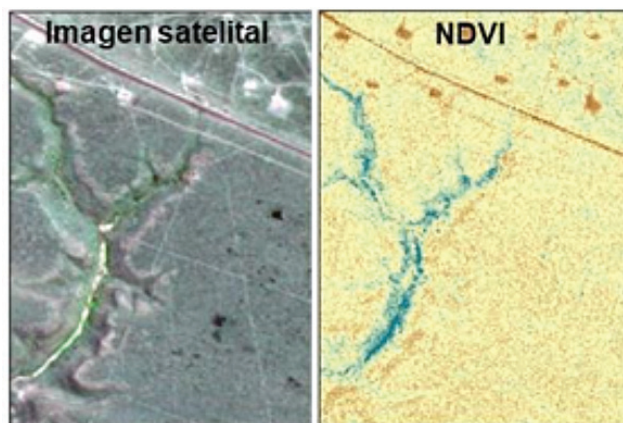


Figura 1. Imagen satelital y NDVI.

Los otros índices aplicados son los siguientes:

- MCARI2: Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index 2
- MSAVI2: Modified Soil Adjusted Vegetation Index
- EVI2: Two-band Enhanced Vegetation Index
- SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index
- GEMI: Global Environmental Monitoring Index

## Portal web

Para manejar espacialmente la totalidad de la información generada anualmente (índices de vegetación) se desarrolló un portal web soportado sobre una plataforma de un Sistema de Información Geográfica, que permite almacenar, procesar y compartir los distintos índices de vegetación, permitiendo así administrar, procesar datos y mostrar resultados en un entorno colaborativo con el acceso de múltiples usuarios.

Los yacimientos están publicados por servicios de mapas interactivos y están organizados en capas de información geográfica. El contenido principal son los sitios de monitoreos de vegetación (achiques de locaciones, cierre de caminos y pistas) y diferentes índices de vegetación generados anualmente, complementariamente tiene imágenes satelitales de alta resolución, caminos y mapas temáticos para comprender mejor el ambiente.

En el portal se desarrolló con una herramienta que facilita la carga de los sitios de monitoreo y con un proceso automatizado que permite hacer cálculos estadísticos con los índices de vegetación.

Para la generación de un sitio de monitoreo, el usuario digitaliza el polígono sobre el mapa y al finalizar, automáticamente tiene la opción de realizar los cálculos estadísticos con los índices de vegetación. La herramienta permite seleccionar uno o varios índices como también diferentes años de toma anuales de las imágenes (Figura 2).

El proceso consiste en tomar el polígono, extraer los píxeles de la imagen dentro del área y realizar los cálculos de la media, valores máximos y mínimos, rango y comparar el valor de la media de índice de vegetación del área monitoreada con su entorno.

Es de interés que el sitio por monitorear en su proceso de revegetación pueda llegar al estado natural previo a la intervención y para ello se espera que sea similar a su entorno. Para conocer numéricamente esa relación se compara el valor de la media de índice de vegetación del área monitoreada y su entorno. Este proceso está automatizado, el usuario selecciona el polígono de monitoreo y define un radio de alcance para realizar un "buffer" que defina su entorno. Para tener un área representativa, lo más natural posible, el sistema extrae áreas antrópicas como caminos u otras instalaciones. En la figura 3 se puede observar un "buffer" de 50 m en el entorno de la zona de achique de locación con la exclusión de dos caminos.

## Resultados

Los valores de los índices de vegetación sobre los sitios de monitoreo se pueden visualizar, analizar e interpretar en una tabla de atributos o con representaciones gráficas.

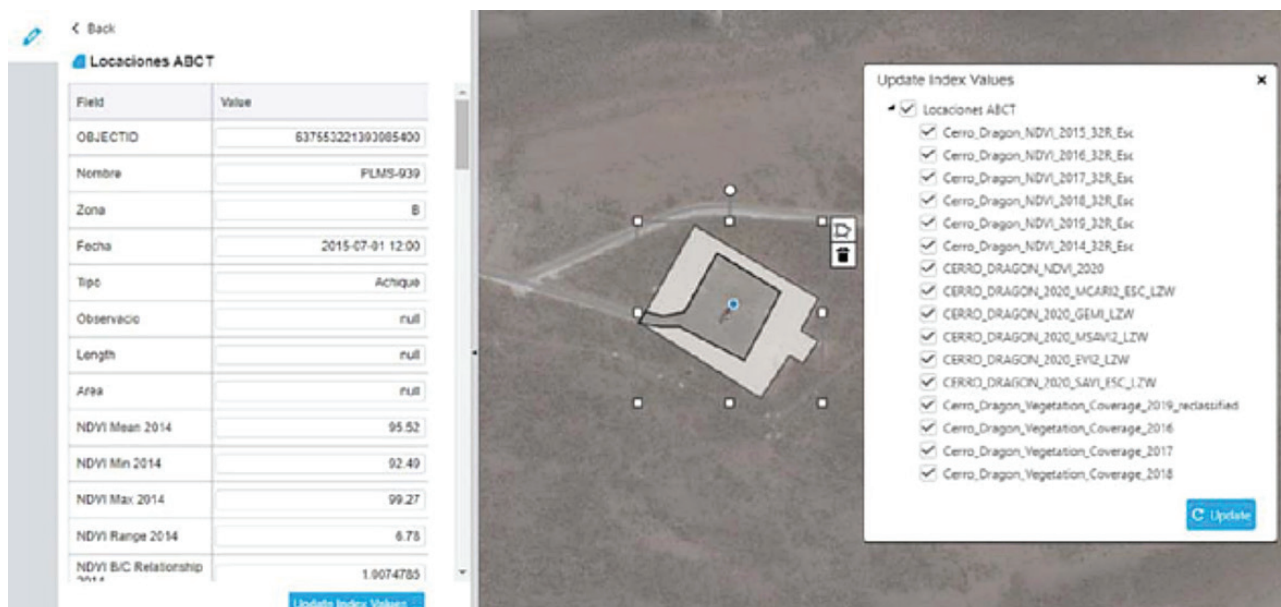


Figura 2. Digitalización de achique de locación y cálculo estadísticos.

A modo de ejemplo, tenemos el caso del Pozo PLMS-936 que tuvo un achique de locación en 2015. En la figura 4 se pueden observar los registros históricos de la media de NDVI en la zona de achique de locación (Zona B), complementariamente tenemos su entorno (Zona C) y el área operativa (Zona A). En 2015 baja el NDVI en la zona de achique respecto de 2014 por la construcción de la locación y, a partir de 2017, el valor de NDVI muestra una tendencia de recuperación. El mismo análisis temporal se puede realizar con el gráfico lineal.

En la comparación con su entorno (NDVI B/C Relationship) presenta un valor de 0,97 cercano a 1 el valor máximo, esto indica que el achique es similar a su estado natural original previo a la construcción de la locación.

Para un análisis en detalle se pueden realizar perfiles de índices de vegetación. Para el caso del Pozo PLMS-936, en la figura 5 se muestra la diferencia entre la zona operativa (Locación) que tiene un NDVI bajo y el achique que presenta una recuperación con valores cercanos a



Figura 3. Generación de entorno con extracción de zonas antrópicas y cálculo.

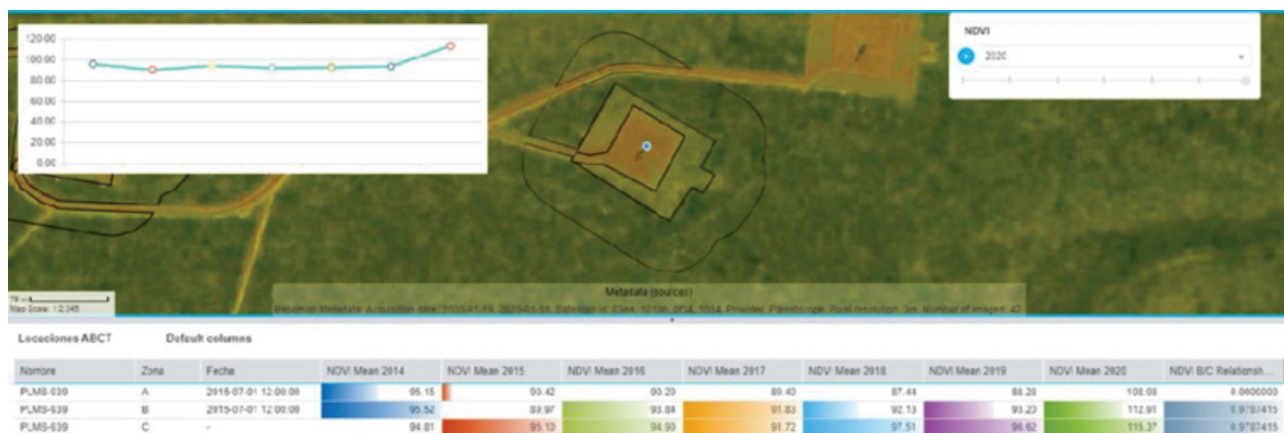


Figura 4. Registros históricos de NDVI en achique de locación Pozo PLMS-936.

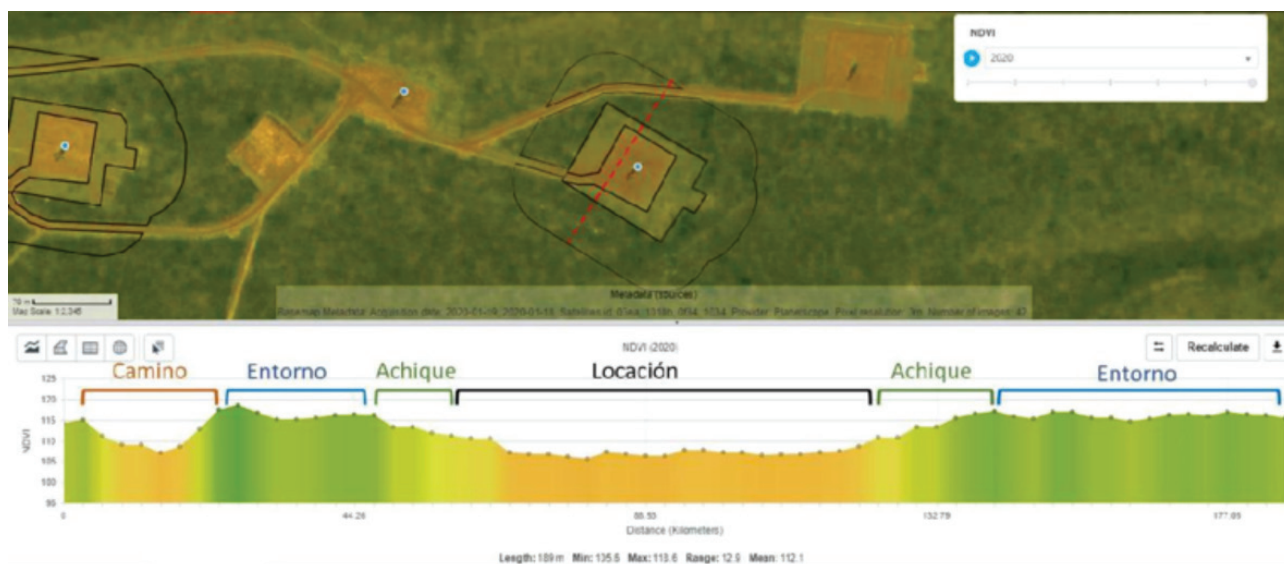


Figura 5. Perfil de NDVI en pozo PLMS-936 para 2020.

su entorno. La resolución de 3 m/píxel de las imágenes utilizadas permite observar detalles como la traza de un camino secundario.

Para un análisis de interpretación visual en el portal se puede realizar una comparación de series temporales de índices de vegetación. En la figura 6 se muestra la

evolución de la locación de pozo PLMS-936 y se puede comprobar como en el área donde se realizaron tareas de achique, el NDVI (parte inferior de la imagen) mejora de manera diferencial que el resto.

A partir de identificar y analizar los valores de los índices de vegetación de aquellas zonas en donde PAE

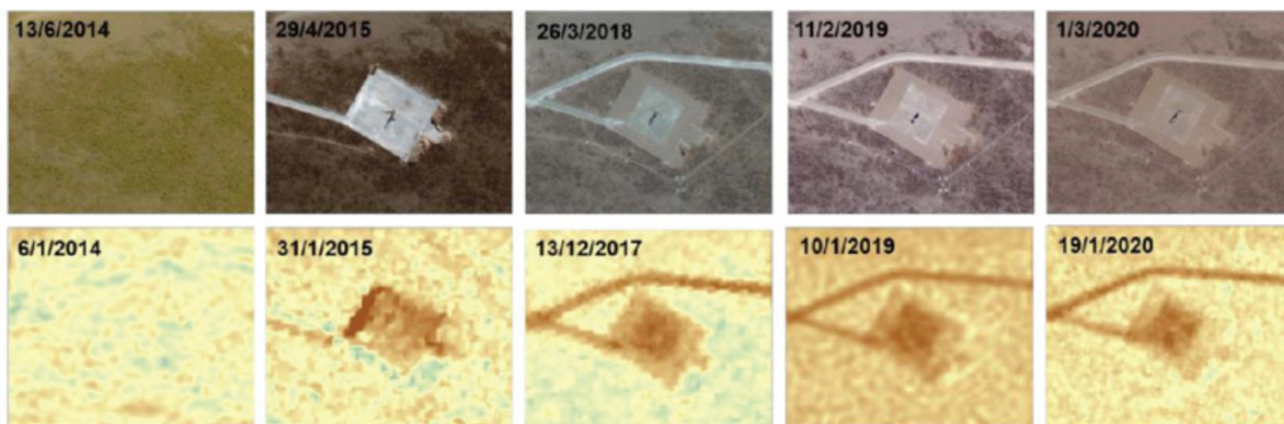


Figura 6. Monitoreo anual de la vegetación de 2014 a 2020 en achique de pozo PLMS-939. Para una mejor interpretación la imagen superior es de alta resolución.

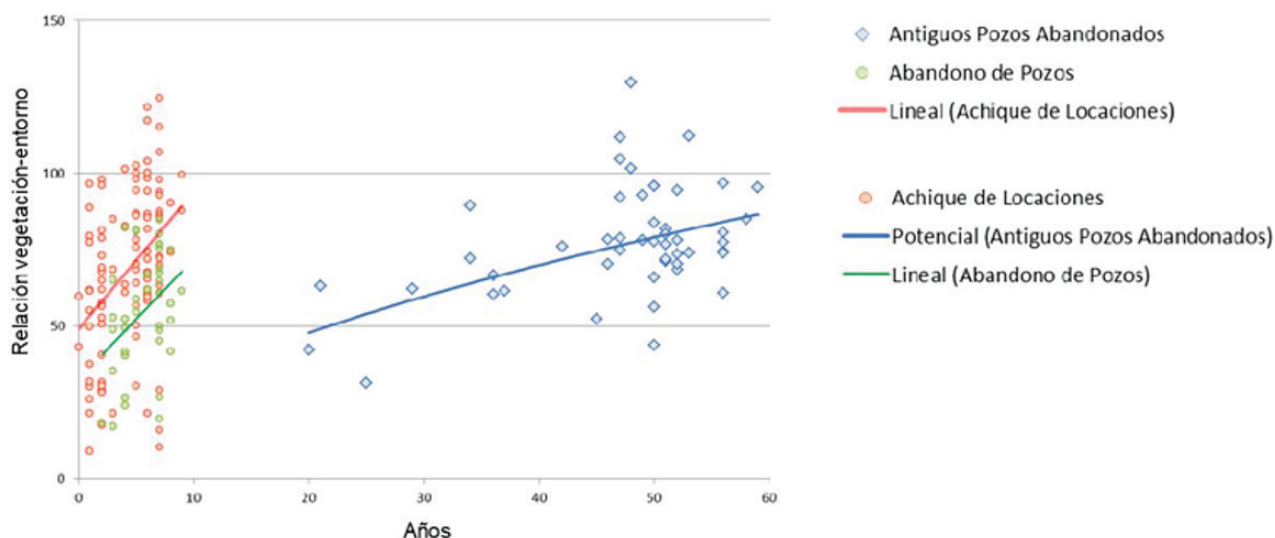


Figura 7. Comparación de recuperación de vegetación en locaciones abandonadas y con tareas de achique.

realizó tareas tendientes a la revegetación. Fue posible establecer y comprobar que las tareas que se realizan desde 2009 en los pozos de Golfo San Jorge, claramente catalizan la actividad vegetal de estas áreas.

Se pudo comprobar que la naturaleza necesitó un período de 60 años para llevar a la vegetación de antiguas locaciones abandonadas (donde no se realizó ninguna práctica de saneamiento) a valores de cobertura de vegetación similares a los alcanzados en 10 años en las zonas donde se realizaron tareas de revegetación (Figura 7).

De esta manera se cuenta con una herramienta que permite realizar el seguimiento de la evolución de la vegetación sobre áreas extensas (6700 km<sup>2</sup>), que permite realizar el monitoreo de cientos de sitios de manera sencilla y eficiente.

## Conclusiones

La percepción remota, sumada a la red de parcelas de vegetación en campo, conforma una importante y sólida herramienta para obtener datos del estado de la vegetación, incluso en ambientes amplios y heterogéneos como la Patagonia argentina.

Los sensores remotos son un recurso eficiente para yacimientos de grandes extensiones, que permiten contar con valores de vegetación para toda la superficie de operación y facilita el seguimiento de su evolución en el tiempo.

Los índices de vegetación permiten identificar cambios interanuales y tendencias de su evolución general o regional.

La interpretación de los cambios interanuales de la vegetación permite inferir el origen de los procesos que generan dicha fluctuación. En sitios de monitoreo de vegetación es posible identificar afectaciones por procesos ajenos a la actividad hidrocarburífera, como la erosión y el sobrepastoreo, entre otros.

El desarrollo de un portal web que integra los índices de vegetación con cientos de sitios de monitoreo donde

se realizan acciones para la recuperación de la vegetación permite hacer un seguimiento efectivo y eficiente.

La implementación de procesos de automatización para la carga de datos y cálculos estadísticos permite enfocarse en el seguimiento de sitios de monitoreo y facilitar así la toma de decisiones al reducir tiempos y costos operativos.

## Referencias bibliográficas

- Beeskow, A.; Del Valle, H. y Rostagno, M. (1987). "Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la Provincia del Chubut", Centro Nacional Patagónico, SECyT, Puerto Madryn. Argentina.
- Castro Dassen, H.; Rial, P.; Oliva, G.; González, L.; Paredes, P.; Humano, G.; Rivera, E. y Quagnolo, E. (2006). "Degradación de suelo y vegetación por explotación hidrocarburífera en la Cuenca del golfo San Jorge (Santa Cruz) y posibilidades de rehabilitación", 6.º Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo, *Petrotecnica*.
- Jensen, J. R. (1996). "Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective", (2nd ed.), Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- León, R. J. C.; Bran, D.; Collantes, M.; Paruelo, J. M. y Soriano, A. (1998). "Grandes unidades de vegetación de la Patagonia", *Ecología Austral* 8, 123-144.
- Lillesand, T. M.; Ralph, W. y Kiefer, W. (1994). "Remote sensing and image interpretation", 3er ed. Wiley & Sons, NY, USA.
- Paruelo, J. M. (2008). "La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos", *AEET, Ecosistemas* 17(3), 4-22.
- Soriano, A. (1956). "Los distritos florísticos de la Provincia Patagónica", *Revista Argentina de investigaciones agrícolas*, 10(4), 323-347.
- Townshend, J. R. G. y Justice, C. O. (1986). "Analysis of the dynamics of African Vegetation using the normalized difference vegetation index", *International Journal of Remote Sensing* 7, 1435-1445.