2025 | 16·20
GIJÓN | JUNIO
9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1660

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025**.
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza

Estimación ágil y precisa del carbono para proyectos de compensación: casos de éxito e importancia de los estándares de calidad

LIZARRALDE, I. (1), SÁNCHEZ TÁBOAS, M. (2), MATEO GARCÍA, M. (2), RUIZ QUIRALTE, M. (2), ALONSO PONCE, R. (1), PÉREZ RODRÍGUEZ, F. (1) y CISNEROS, O. (1)

(1) Fora forest technologies, SLL
(2) Airco2 Climatech, SL

Resumen

Los proyectos de compensación de carbono en bosques han experimentado un rápido crecimiento en los últimos años, generalizándose su uso y creándose multitud de iniciativas. Este rápido desarrollo ha traído consigo la entrada de muchos actores de diversa índole en respuesta a la oportunidad económica, precisamente en un sector, el forestal, habitualmente poco atractivo para las inversiones.

Existen casos en los que el rigor en la estimación del carbono ha pasado a un segundo plano frente a nuevas formas de comercialización. Sin embargo, existen también casos de éxito en los que las sinergias entre compañías enfocadas al comercio de créditos de carbono y compañías con experiencia y tecnología suficiente para un correcto cálculo del carbono ofrecen fiabilidad y transparencia al mercado.

La unión de fuerzas de la empresa de proyectos de compensación airCO2 y la compañía de tecnología forestal föra es un claro caso de éxito. Se destacan algunos resultados de esta iniciativa, que demuestra cómo se puede crear una oportunidad de mercado al fundamentar las estimaciones en el rigor de la ciencia forestal.

Junto con ello, se detecta la necesidad de desarrollar estándares de calidad y estrategias de monitorización de los proyectos para poder aportar garantías plenas al mercado.

Palabras clave

CO_2, tecnología, créditos, mercado, sinergia

1. Introducción

La compensación de huella de carbono mediante proyectos forestales es, quizá, una de las incorporaciones que con más fuerza y diversidad ha entrado en el sistema económico del sector forestal en la última década. No se trata sólo de la gran cantidad de proyectos realizados, ni tan sólo de la estabilización de sistemas nacionales y regionales, sino que, probablemente, lo más destacado es la gran

incorporación de nuevos actores al sector forestal.

La proliferación de empresas dedicadas al mercado de créditos de carbono mediante su cálculo y puesta en mercado ha venido acompañada de una fuerte entrada de actores, inicialmente externos al sector, generando una mayor diversidad respecto a los actores tradicionales del sector. Este cambio está protagonizado por la entrada de capital en el sector, representado por fondos de inversión y grandes empresas.

Esta inyección de capital en el sector presenta claras ventajas incluso más allá de los proyectos de compensación de huella, con la compensación de biodiversidad, los créditos climáticos y la financiación de los servicios ecosistémicos en el horizonte. Sin embargo, también pueden conllevar inconvenientes y/o riesgos, ya que la entrada de capital no estaba sincronizada en el tiempo con una regulación clara de varios aspectos de este modelo de negocio.

En este trabajo se busca reflexionar sobre esas ventajas y riesgos de este nuevo panorama en el sector a través de ejemplos prácticos de éxito y propuestas de mejora futura.

2. Objetivos

El principal objetivo de este artículo es mostrar cómo desde la colaboración entre empresas, uniendo mercado con tecnología, se puede aportar rigor a los proyectos de compensación. Además, se busca poner de relieve los problemas existentes en el mercado, principalmente en lo referente a la correcta y precisa estimación de carbono en bosques, lo que lleva a la necesidad de estándares de validación para fomentar la seguridad jurídica de dichos proyectos.

Así, proponemos dos objetivos claros para este trabajo: en primer lugar, detectar las oportunidades y riesgos del mercado de carbono y, en segundo lugar, mostrar ejemplos de éxito a través de fórmulas que eviten los principales riesgos asociados.

3. Situación: Problemática y Oportunidades

Más que hablar de metodología, este apartado busca poner sobre la mesa la situación existente con la compensación de emisiones mediante proyectos forestales. Este texto no es un texto científico y, por lo tanto, no sigue el esquema de metodología, resultados y discusión clásico de los artículos científicos. En el siguiente apartado se esquematizan algunos de los procesos, pero no se busca entrar en el detalle de dichos procedimientos porque el objetivo es mostrar la situación, con su problemática y oportunidades asociadas a una correcta estimación del carbono mediante LiDAR y/o información satelital.

La proliferación de iniciativas de compensación de emisiones mediante proyectos forestales no ha ido, en algunos casos, acompañada del rigor científico necesario

para el cálculo de carbono, basando su éxito en el atractivo de su plataforma, la tecnología de intercambio (blockchain, etc.) o su capacidad comercial. Estos aspectos son igualmente positivos, pero no deben ser incompatibles con estar basados en ciencia forestal, con cálculos precisos y transparencia.

Frente a estas deficiencias en el procedimiento, existen claras oportunidades. La estimación de carbono de forma precisa y ágil puede llevarse a cabo ofreciendo las máximas garantías, tanto desde el punto de vista de las instituciones involucradas en las distintas iniciativas, como desde el punto de vista de las organizaciones o inversores que las utilizan para la compensación de sus emisiones.

Una correcta estimación de carbono se fundamenta en distintas metodologías en función de la disponibilidad de datos. En España, la disponibilidad de datos LiDAR, sobre todo los del PNOA-LiDAR ha facilitado la estimación del carbono como otra variable más de un inventario LiDAR. Esto no significa que la estimación mediante LiDAR siempre sea precisa, ya que, en algunos casos, el nivel de modelización para conseguirlo no es el más adecuado o, incluso, en otros casos, la forma de estimación no tiene en cuenta los criterios básicos de modelización, o los datos previos para dicha estimación no son adecuados por pertenecer a otras especies u otras regiones o países.

Por otro lado, en ocasiones no se ofrece una mínima diagnosis y validación de los algoritmos desarrollados, lo que hace imposible conocer la precisión y aptitud de dichos algoritmos y, por ende, la calidad del cálculo de carbono que después se pone en el mercado en forma de créditos.

4. Caso de Éxito

En un entorno como el expuesto en el apartado anterior, podemos encontrarnos casos diversos. La mayoría de las iniciativas existentes podrían clasificarse según los siguientes parámetros:

- Iniciativas que cumplen con el Registro de proyectos de compensación del Ministerio. En este caso, son proyectos de repoblación en zonas sin cambio de uso de suelo o en los que se esté recuperando una zona que ha sufrido incendio. Estas iniciativas no tienen la problemática expuesta ya que siguen las indicaciones del Registro para el cálculo de absorciones.
- Iniciativas fuera del Registro del Ministerio, pero que no aportan información alguna sobre la precisión del cálculo de absorciones de carbono en bosques.
- Iniciativas fuera del Registro del Ministerio que cuentan con una estimación precisa y demostrada de carbono.

Desde el año 2022, la empresa dedicada al mercado de créditos de carbono Airco2 Climatech, SL (Airco2) comenzó una colaboración con Fora forest technologies, SLL (föra), compañía de tecnología e innovación forestal, para la correcta estimación del carbono en bosques de diferentes características. Este ejemplo ha mostrado que, gracias a esta colaboración, se ha llevado a cabo una estimación precisa de la

absorción de carbono y, por tanto, esta iniciativa puede clasificarse en el tercer grupo de iniciativas arriba mostradas. Además, este caso de éxito puede ser replicado siempre que se utilice el rigor científico en el cálculo del carbono, lógicamente siempre unido a las características propias del sistema de Airco2 que permite la intervención en el mercado de créditos de carbono.

En los dos primeros años, la colaboración se centró en España, con diversas parcelas en las provincias de Pontevedra, Badajoz, Sevilla, Girona, Bizkaia, Albacete, Lugo, León, Córdoba y Valladolid sobre más de 7.500 hectáreas. En estos trabajos, la estimación de carbono se realizó utilizando la información LiDAR disponible del PNOA, y para su desarrollo, Airco2 utilizó la plataforma förecast de föra. Esta plataforma permite obtener un inventario forestal automáticamente simplemente introduciendo la zona sobre la que se quiere obtener el inventario. En el caso de Airco2, el dato de carbono es directamente proporcionado por förecast una vez subida la zona de estudio. La diagnosis de los algoritmos desarrollados en förecast sigue la pauta de algoritmos precisos, robustos e insesgados, como en la mayoría de los proyectos de förecast.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de montes que han aplicado la metodología förecast para estimar la biomasa y transformarla posteriormente en créditos de carbono.La temporalidad del proyecto hace referencia a su duración y al compromiso del gestor forestal de mantener la masa en buen estado, condición necesaria para poder comercializar el CO2 absorbido.

Tabla 1: Resumen de características de los proyectos (LiDAR) y diagnosis de los algoritmos

Donde ME: Error medio o sesgo (“Error de rodal”) de la estimación de biomasa; R2ajustada: Coeficiente de determinación (medida de bondad del ajuste del algoritmo) de la estimación de biomasa; La temporalidad del proyecto hace referencia a su duración y al compromiso del gestor forestal de mantener la masa en buen estado, condición necesaria para poder comercializar el CO2 absorbido

A partir de 2024, y debido a la expansión internacional de Airco2, la colaboración se extendió a Portugal, donde no existe aún información LiDAR disponible y gratuita. Por ello, el reto que se planteaba suponía pasar de la estimación de carbono con LiDAR, algo ya resuelto, a poder hacerlo solamente con información satelital.

Ante este reto, se planteó un esquema de trabajo que partía de la información multiespectral mediante la cual se pueden sintetizar en índices de vegetación relacionados con el vigor, la existencia de desórdenes fisiológicos, la cobertura, etc. y relacionarlas con los datos capturados en campo. En la búsqueda de los mejores resultados, se probaron diversos algoritmos de regresión (redes neuronales, regresión ridge, regresión lasso, random forest y ajuste boost) y se comparó el ajuste sobre las muestras de test en tandas de validación cruzada. Además, se aplicaron técnicas para la depuración de resultados como la preselección de variables por el algoritmo de información mutua, ajustes de hiperparámetros mediante optimización Bayesiana o la reducción de dimensiones mediante PCA (análisis de componentes principales) y UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection) entre otros. Por último, se buscó la mejora de las estimaciones mediante la inclusión de estimaciones generales de biomasa y altura, utilizando también datos del satélite de la NASA GEDI.

Los resultados de las estimaciones con satélite se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2: Resumen de características de los proyectos (satélite) y diagnosis de los algoritmos

Con todo ello, y como se ha mostrado, se obtuvieron unos resultados fiables, cuya diagnosis revela estadísticos de sesgo y desviación cuadrática media análogos a los obtenidos con LiDAR, y en línea con los principales estudios publicados recientemente que también utilizaban satélite sin LiDAR (LU et al., 2016; ISBAEX & COELHO, 2021; PULITI et al., 2020). Esto pone de relieve el potencial de la información satelital para el cálculo de carbono y cómo la ausencia de información LiDAR no es razón suficiente para desarrollar estimaciones de carbono que no tengan el grado de precisión y sentido biológico suficiente como para el mercado de créditos de carbono se resienta.

5. Discusión

Este artículo pretende poner sobre la mesa los argumentos necesarios para discutir sobre la actual situación de los proyectos forestales para la compensación de emisiones. Siendo una situación relativamente novedosa, ha tenido mucho impacto dentro y fuera del sector por el enorme potencial inversor interesado en este tipo de proyectos. Como suele ocurrir en otros sectores, el escenario de inversión ha conllevado una gran llegada de actores al sector, muchos de ellos totalmente ajenos a lo forestal, atraídos por la inversión y la baja ratio riesgo/beneficio de muchas de estas operaciones.

Sin embargo, esta entrada de actores al sector no está exenta de polémica. En

algunos casos, se ha hecho más énfasis en las plataformas de Marketplace de carbono y sus ventajas que en el rigor científico en el que debe basarse la fase inicial de todo sistema, que no es otro que el cálculo preciso del carbono en bosques.

Unido a esto, la falta de estándares de validación de dichos cálculos ha generado incertidumbre e inseguridad jurídica que, de forma lógica, ha creado reticencias en algunos inversores, acostumbrados a inversiones con quizá más riesgo, pero con reglas algo más claras.

Frente a estos problemas y la incertidumbre asociada, existe una gran oportunidad para el sector forestal con este tipo de proyectos. Las inversiones pueden generar unos beneficios importantes para propietarios y gestores de muchos montes, y también para un buen número de iniciativas que conforman el mercado de créditos de carbono. Sin embargo, esta oportunidad debe estar sustentada sobre cimientos fuertes basados en el rigor, la precisión y la transparencia. Si conseguimos ofrecer esa seguridad al mercado, sin duda los inversores reticentes estarán dispuestos a desembarcar en este mercado.

En este trabajo se muestra un caso de éxito de cómo una iniciativa de créditos de carbono puede asegurar ese rigor, como sin necesidad de tener una gran experiencia en el sector, se pueden desarrollar alianzas que aporten la información y la precisión necesaria para ofrecer servicios rigurosos.

Los ejemplos expuestos en resultados muestran, en primer lugar, en el caso de las estimaciones realizadas a través de förecast, una diagnosis de modelos precisa y robusta que asegura el buen comportamiento de la estimación de biomasa. No existen espaciales diferencias entre especies y regiones, lo que, a pesar de que habitualmente las frondosas como la encina pueden proporcionar peores ajustes con LIDAR, muestra cómo los procedimientos de ajuste de förecast son precisos y robustos independientemente de la ecología de la especie o la región en la que se encuentre.

En el caso de las estimaciones realizadas con satélite en zonas donde no hay disponibilidad de LiDAR, se muestra también un comportamiento muy adecuado de los algoritmos. En este caso, los procedimientos son más complejos que con LiDAR, necesitando de una batería de métodos de machine learning y calibración, pero que muestran el potencial de dichas metodologías.

6. Conclusiones

La principal conclusión de este trabajo es que, frente a los riesgos generados por un uso poco cuidadoso de cálculo de carbono en estos mercados, existen fórmulas que garanticen la calidad y, consecuentemente, la seguridad jurídica para una inversión de una magnitud no muy habitual para nuestro sector.

El uso de herramientas de estimación automática y en tiempo real de información

LIDAR, como förecast, se muestra como una estrategia de éxito que permite aportar rigor en el cálculo de biomasa/carbono para los mercados de créditos de carbono. Sin embargo, debe destacarse también el progreso en las técnicas estadísticas de procesado de información satelital para estas estimaciones. No todos los territorios tienen la disponibilidad gratuita y recurrente de información LiDAR como existe en España gracias al proyecto PNOA. Por ello, y de cara a la estimación de carbono en bosques más allá de las zonas con vuelos LiDAR, los resultados obtenidos en este trabajo muestran cómo la información satelital permite dar ese salto geográfico en los mercados de carbono manteniendo el rigor en las estimaciones de carbono en bosques.

Debemos aprovechar esta oportunidad y para ello, deberemos apoyarnos, como tantas otras veces, en la ciencia forestal como base para un desarrollo óptimo de nuestro sector. Tenemos las herramientas y el conocimiento. Sólo queda ser rigurosos con nosotros mismos y trabajar por la estandarización de los sistemas de control para ofrecer la máxima seguridad.

7. Bibliografía

LU, D., CHEN, Q., WANG, G., LIU, L., LI, G., & MORAN, E.; 2016. A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. International Journal of Digital Earth, 9(1), 63–105. https://doi.org/10.1080/17538947.2014.990526

ISBAEX, C.; COELHO, A.M.; 2021. The Potential of Sentinel-2 Satellite Images for Land-Cover/ Land-Use and Forest Biomass Estimation: A Review. *Forest Biomass - From Trees to Energy*. IntechOpen; 2021. Available from: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.93363

PULITI, S.; HAUGLIN, M.; BREIDENBACH, J.; MONTESANO, P.; NEIGH, C.S.R.; RAHLF, J.; SOLBERG, S.; KLINGERBERG, T.F.; ASTRUP, R.; 2020. Modelling above-ground biomass stock over Norway using national forest inventory data with ArcticDEM and Sentinel-2 data. Remote Sensing of Environment, 236. pp 111501. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111501