

## MONITORIZACIÓN DEL ESTADO SANITARIO DE LAS MASAS DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* EN GALICIA EMPLEANDO MODELOS DE PROCESO, SIG Y TELEDETECCIÓN.

M. F. Alvarez<sup>1\*</sup>, H. Lorenzo<sup>2</sup>, M. A. Wulder<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de León, E.S.T. Ingeniería Minas, Avd. Astorga s/n 24400, Ponferrada, León, España

<sup>2</sup>Universidade de Vigo, E.U. Enxeñaría Técnica Forestal, Campus A Xunqueira, 36005 - Pontevedra, España

<sup>3</sup>Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, 506 West Burnside Road, Victoria, BC, Canada, V8Z 1M5

\*Autores para la correspondencia: [flor.alvarez@unileon.es](mailto:flor.alvarez@unileon.es)

Boletín del CIDEU 4: 41-47 (2007)

ISSN 1885-5237

### Resumen

La productividad de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. se ha visto amenazada por el gorgojo del eucalipto, *Gonipterus scutellatus* Gyll., cuyos ataques han afectado a casi todas las plantaciones en Galicia en los últimos 15 años. Los sistemas de seguimiento de daños empleados se han basado en inventarios de campo que requieren una gran inversión en recursos económicos y humanos, y cuyos datos se caracterizan por la subjetividad en la determinación del grado de defoliación, y por la falta de exactitud espacial e inmediatez en su toma. En esta investigación se desarrolla un modelo-prototipo de Sistema de Monitorización del Estado Sanitario de los Eucaliptales (SMESE) para mejorar la gestión y planificación forestal las masas de *Eucalyptus globulus* afectadas por el gorgojo, empleando técnicas de teledetección y GIS. Este objetivo se alcanza tras (i) establecer un marco conceptual para un Sistema de Monitorización del Estado Sanitario de las masas de *Eucalyptus globulus* en Galicia, (ii) actualizar la cartografía de las mismas, y (iii) distinguir y cartografiar las dañadas por el gorgojo, empleando teledetección y GIS. En este estudio demuestra la viabilidad técnica y económica del uso combinado de modelos de crecimiento de proceso (3-PG), teledetección y GIS para la monitorización de los eucaliptales gallegos a diferentes escalas.

**Palabras clave:** sanidad forestal, defoliación, monitorización, imágenes de satélite, 3-PG

### Summary

**Forest Health Monitoring in *Eucalyptus globulus* stands in en Galicia using process-based models, GIS and remote sensing.**

Productivity of *Eucalyptus globulus* Labill. plantations has been threatened by the Eucalyptus snout beetle, so that nearly all stands have been attacked in the last 15 years. Damage monitoring systems applied so far are based on field inventory, which are very staff and budgeted demanding. Moreover data collected in that way are not objective regarding defoliation evaluation and there is a lack of spatial accuracy and timeliness. This research develop a prototype model for a Forest Health Monitoring System (FHMS) to improve forest management and planning for eucalypt stands damaged by the snout beetle, using GIS and remote sensing techniques. This goal is achieved by (i) establishing a conceptual frame for a Forest Health Monitoring System (FHMS) for *Eucalyptus globulus* stands in Galicia, (ii) updating eucalypt stand mapping, and (iii) identifying and mapping eucalypt stands damaged by the snout beetle, by using remote sensing and GIS. This paper shows the technical and economic feasibility of combining process-based models (3-PG), remote sensing and GIS to monitor eucalypt stands in Galicia at different scale.

**Key words:** forest health, monitoring, satellite imagery, 3-PG

## Introducción

Las masas de *Eucalyptus globulus* Labill. no son sólo una parte importante de la cubierta forestal gallega en la actualidad, sino que en el futuro una amplia superficie estará cubierta con eucaliptales adultos (Álvarez-Álvarez *et al.*, 2005), susceptibles de ser dañados por diferentes plagas, entre ellas el gorgojo del eucalipto, *Gonipterus scutellatus* Gyll. (Coleoptera, Curculionidae), cuyos ataques han afectado a casi todas las plantaciones en los últimos 15 años. A pesar de la adversidad de este ataque, los daños provocados por este defoliador no causan la muerte del árbol, pero reducen su crecimiento (Pinkard *et al.*, 2006).

Sin embargo, y a pesar del creciente número de iniciativas internacionales que promueven el seguimiento y la generación de información para la gestión forestal sostenible, y que consideran la salud forestal como una cuestión de interés, en España no existe un inventario a escala nacional para el seguimiento del estado sanitario de las masas de *Eucalyptus globulus*. No obstante, el interés en el seguimiento y la elaboración de cartografía estas masas ha sido puesto de manifiesto por la Xunta de Galicia, la industria de la celulosa y los propietarios forestales, desarrollando redes de parcelas permanentes de inventario para determinar los daños en los eucaliptales, si bien estas no registran la información objetiva e independiente del observador, no lo hacen de forma inmediata ni en toda el área de interés.

Por otra parte, las características radiométricas de reflectancia de la vegetación, los avances tecnológicos que permiten adquirir a un coste asumible imágenes de satélite en un amplio rango de resoluciones, la madurez de los métodos de

procesado y análisis espacial, la aparición de nuevas técnicas de extracción de la información, y la mejora en la comprensión de *cómo* y *por qué* la teledetección y el análisis espacial pueden contribuir a la gestión forestal (Wulder y Franklin, 2003), enfatizan el potencial de la teledetección y los GIS para caracterizar, cartografiar y monitorizar las zonas forestales. Por ello, el objetivo de este estudio es desarrollar un modelo-prototipo de Sistema de Monitorización del Estado Sanitario de los Eucaliptales (SMESE) operativo, objetivo y preciso para las masas de *Eucalyptus globulus* donde los ataques de gorgojo afectan a su productividad, empleando técnicas de teledetección y GIS, contribuyendo a la mejora la gestión de las mismas y de la planificación forestal.

## Material y métodos

Se compararon diferentes métodos para la determinación y seguimiento del estado sanitario de las masas forestales, a partir de la consulta de referencias nacionales e internacionales, con especial atención a las relativas a los eucaliptales. Esta revisión indica que los sistemas generales de monitorización del estado sanitario forestal no se han diseñado habitualmente para cuestiones específicas y únicas de salud forestal, relacionándose a menudo con la monitorización del crecimiento (Álvarez, 2006). En el contexto de la gestión y la planificación de las plantaciones comerciales de *Eucalyptus globulus* en el noroeste de España la estimación de recursos forestales es clave, de modo el SMESE propuesto no solo considera el estado sanitario, sino que también tiene en cuenta otra información útil para los gestores (e.g. volumen de madera, crecimiento). De este modo, el SMESE se concibe como una serie de “cajas” interconectadas, donde la

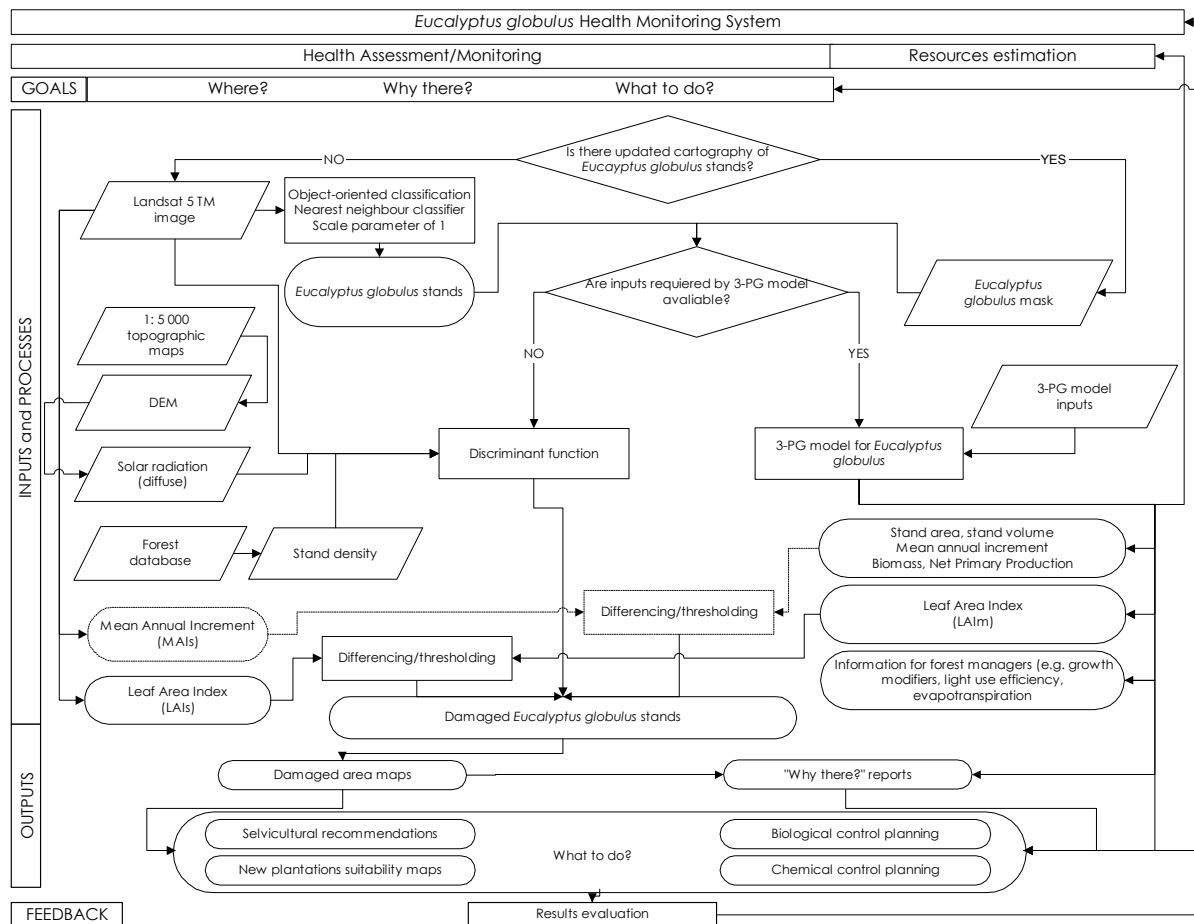
información y los procesos interaccionan para alcanzar los objetivos propuestos, y queda definido al determinar la información solicitada al sistema (*output*), así como los *inputs* y los procesos necesarios para obtenerla. Los criterios considerados en su diseño fueron la exactitud, la adecuación en cuanto a la gestión forestal operativa, la posibilidad de implementarlo en otros sistemas de seguimiento, la viabilidad económica, las peculiaridades del ataque del gorgojo, las características de los eucaliptales gallegos, y las condiciones de Galicia en cuanto a disponibilidad de imágenes de satélite sin nubes en la época adecuada. La información almacenada en el SMESE debe indicar si los agentes dañinos alcanzan un nivel tal que afectan de forma adversa a los objetivos de la gestión forestal y determinar de qué modo y en qué magnitud lo hacen. Además de localizado, problema sanitario debe ser descrito en un contexto espacial, con respecto a la unidad administrativa afectada, la propiedad o la fisiografía. Así mismo, la plaga/enfermedad detectada puede ser un síntoma de un problema sanitario de mayor envergadura, de modo que el análisis espacial de la misma mediante SIG favorece la detección de pautas y patrones de dispersión e incidencia. El SMESE propuesto toma como base la actualización de la cartografía de las masas de *Eucalyptus globulus*





mediante imágenes de satélite cuando se considere necesario, y en su empleo para la detección de daños empleando técnicas de teledetección, SIG y/o el modelos de proceso.

### Resultados y discusión

La Figura 1 muestra la estructura del prototipo de SMESE, con los objetivos definidos, los *inputs* y procesos requeridos para alcanzarlos, así como los *outputs* logrados.

La aplicación del SMESE se inicia decidiendo si la cartografía de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* está disponible y si es adecuada. En ese caso, se crea una máscara con las plantaciones y se integra directamente en el GIS. En el caso contrario, los eucaliptales se cartografían a partir de la clasificación de imágenes de los sensores IKONOS y Landsat-5 TM. La idoneidad de las imágenes se discutió según criterios de exactitud, costes de adquisición y procesamiento, y aplicaciones complementarias. Se comprobó que las imágenes Landsat-5 TM son las que mejor satisfacen estos criterios y se recomienda su empleo, alcanzándose una exactitud del productor del 95.56% y un error de comisión del 27.22% para la zona de estudio.



**Figura 1. Estructura del SMESE propuesto. Los datos y variables de entrada se representaron como . El símbolo  representa los procesos necesarios para transformar las variables de entrada en resultados o en variables intermedias, usadas como variables de entrada en otros procesos. Las variables de salida y los resultados se representaron como . La toma de decisiones planteada ante la existencia de diferentes alternativas, se representó como .**

Si los datos requeridos por el modelo de proceso 3-PG no están disponibles, el SMESE permite detectar eucaliptales dañados, empleando como variables de entrada los datos del SIG (espectrales, dasométricos y fisiográficos), diferenciando masas con defoliación de hasta el 25% (no dañadas) y masas con un grado de defoliación mayor (dañadas). Las masas dañadas de *Eucalyptus globulus* se identificaron con una exactitud de verdaderos positivos de 72.31% y una exactitud del usuario del 95.92% para la zona de estudio. La detección de daños se basa en un análisis discriminante y requiere

la adquisición de imágenes Landsat-5 TM (datos espectrales), la disponibilidad de un modelo digital del terreno para la zona objetivo, y de datos de densidad de la masa (única variable que tiene que ser inventariada).

Las zonas donde se identifican alteraciones no se clasifican directamente como zonas defoliadas por el gorgojo, sino que se recomienda hacer un seguimiento con trabajo de campo de las mismas, como parte de un inventario de fases. De este modo el trabajo de campo se limita a aquellas zonas con una elevada probabilidad de estar dañadas, incrementando la eficacia y

disminuyendo la intensidad de muestreo y con ello los costes. El SMESE considera tanto el estado de la copa como el crecimiento, de modo que sus resultados complementan los registrados por el principal programa de seguimiento forestal europeo, completando la información recogida por las redes sistemáticas de muestreo del mismo, así como el Plan Estratégico desarrollado por la Xunta de Galicia, produciendo sistema realista, operativo y duradero para el seguimiento de los eucaliptales.

El SMESE propuesto se desarrolla en un marco de sostenibilidad, a escala de paisaje y a escala de monte (local), proporcionando información útil para los gestores y administración forestal de forma asequible, como por ejemplo las directrices para las estrategias de nuevas plantaciones y las prácticas de gestión selvícolas. El modelo de proceso utilizado se ha empleado con éxito para seleccionar áreas potenciales para el establecimiento de áreas de producción de madera (e.g. Almeida *et al.*, 2004; Dye *et al.*, 2004), de modo que los mapas de idoneidad obtenidos del SMESE consideran la *capacidad productiva* y el *estado sanitario*, dos de los criterios de sostenibilidad propuestos por Raison *et al.* (2001). Desde el punto de vista productivo, el desarrollo de las plantaciones de eucalipto está relacionado con las propiedades del suelo y climáticas (Madeira *et al.*, 2004), pero también con la ausencia de plagas y enfermedades. Por ello las áreas donde los daños han sido frecuentes y severos durante varios años no son óptimas para la plantación desde el punto de vista sostenible. Desde otro punto de vista, como consecuencia del calentamiento global surgen nuevos desafíos, puesto que algunas plagas y enfermedades pueden incrementar el nivel de ataque en pies con déficit hídrico (Caldeira *et al.* 2002). Esto sugiere la

posible necesidad de reubicar las plantaciones y seleccionar estaciones óptimas considerando las amenazas en cuanto a salud forestal. En esas zonas se pueden alcanzar crecimientos satisfactorios, pero a costa de aplicar prácticas de manejo intensivas (i.e. fertilización, irrigación, tratamientos insecticidas). La administración y los gestores forestales decidirán si esos tratamientos son adecuados y sostenibles económica, social y ambientalmente, y recomendarán o no el establecimiento de plantaciones de eucalipto en esas zonas. El amplio espectro de variables de importancia forestal (e.g. estado sanitario, existencias, fijación de carbono) que pueden ser detectados y monitorizados combinando el modelo 3-PG, las técnicas de teledetección y GIS, es un indicador de la valía del SMESE a la hora de planificar la gestión forestal a escala de paisaje.

Por otra parte, la administración forestal puede beneficiarse del resultado más sencillo de los generados por el SMESE: la cartografía actualizada de los eucaliptales derivada de imágenes de resolución espacial media. La identificación de cortas y las nuevas requiere únicamente la comparación de dos imágenes satélite de las fechas de interés, de modo que la administración no tendrá que esperar 10 años (cadencia del IFN) para disponer de información actualizada de la extensión de los eucaliptales; del mismo modo, la industria forestal tendrá acceso a información de las existencias de eucalipto, para considerarlas al planificar sus actuaciones.

A escala local, el objetivo del SMESE es proporcionar recomendaciones selvícolas respecto a la idoneidad *a priori* de las plantaciones de eucalipto. Se incide de este modo en la rentabilidad como clave para la sostenibilidad de las plantaciones, y en el

SMESE como sistema de ayuda en la toma de decisiones para ayudar a los forestales a determinar cuáles son las mejores opciones de gestión, compensando los beneficios y los costes extra derivados de las prácticas selvícolas. Con ese mismo enfoque Madeira *et al.* (2004) han desarrollado una estrategia experimental para proporcionar información para desarrollar pautas de gestión silvícola específicas para cada estación, asegurando que la gestión de los eucaliptales es sostenible y coincide con los

objetivos productivos, ambientales y económicos.

El enfoque multiuso del SMESE, i.e. la elaboración de cartografía de los eucaliptales, la detección de las masas dañadas y la estimación de recursos comparten los datos y procesos, incrementa el valor del sistema y se hace económicamente más viable, aunque para que sea plenamente operativo es todavía necesario resolver algunas cuestiones de tipo técnico y conceptual.

## Referencias bibliográficas

- Almeida A.C., Landsberg J.J., Sands P.J., Ambrogi M.S., Fonseca S., Barddal S.M., Bertolucci, F.L., 2004. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in Eucalyptus plantations. *For Ecol Manage.* 193, 167-177.
- Álvarez-Álvarez P., Vega P., Rodríguez-Soalleiro R., Vega, G., 2005. Influencia de las líneas de ayudas a la reforestación en la actividad repobladora y especies empleadas en Galicia. IV Congreso Forestal Español, 11-15 September, Zaragoza, Spain.
- Álvarez M.F., 2006. Remote sensing and Geoinformation Systems applied to the forest management of Eucalyptus globulus Labill. stands damaged by Gonipterus scutellatus Gyllenhal in Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo.
- Battaglia M., White D., Mummery D., Mohammed C., 2004. Process-based models of plantation growth: their role in sustainable forest management. IUFRO Conference Eucalyptus in a Changing World, 11-15 October, Aveiro, Portugal.
- Caldeira M.C., Fernández V., Tomé J., Pereira J.S., 2002. Eucalyptus longicorn borer response to tree water stress. *Ann Forest Sci* 59, 99-106.
- Dye P. J., Jacobs S., Drew D., 2004. Verification of 3-PG growth and water-use predictions in twelve Eucalyptus plantation stands in Zululand, South Africa. *For Ecol Manage.* 193, 197-218.
- Madeira M., Azevedo A., Fabião A., Magalhães M.C., Gomez-Rey M.X., Araújo C., Pina J.P., 2004. Sustained productivity of eucalyptus plantations: site management and silviculture practices IUFRO Conference Eucalyptus in a Changing World, 11-15 October, Aveiro, Portugal.
- Pinkard E.A., Baillie C., Patel V., Mohammed C.L., 2006. Effects of fertilising with nitrogen and phosphorus on growth and crown condition of Eucalyptus globulus Labill. experiencing insect defoliation. *For Ecol Manage.* 231, 131–137.
- Raison J.R., Flinn D.W., Brown A.G., 2001. Application of criteria and indicators to support sustainable forest management: some key issues. En: *Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management*, J. R. Raison, A. G. Brown and D. W. Flinn, (eds.), 5-19. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Wulder, M.A., Franklin, S., 2003 (eds). *Remote sensing of forest environments: concepts and case studies*. Kluwer Academic Publishers, London, UK.