

04-017

EVALUATION OF DATA CAPTURED BY FOREST HARVESTERS FOR THE CHARACTERIZATION OF EFFECTIVE WORK CAPACITIES

Amiama Ares, Carlos ⁽¹⁾; Dugo Patón, Máximo ⁽¹⁾; Diéguez Aranda, Ulises ⁽¹⁾; Bueno Lema, Javier ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Santiago de Compostela

Currently, forest harvesters are equipped with computers capable of capturing and processing a large amount of information on the characteristics of each of trees cut down, the production of each of fields, as well as the operating parameters of the harvester. On the other hand, efforts to optimize forestry are increasing, considering not only aspects related to operating costs, but also trying to reduce the environmental footprint of the actions undertaken. In this context, an adequate management of the information provided by the harvesters will allow to characterize with a high degree of detail the silvicultural production, allowing comparisons to be made as existing models, validating the information provided by them. In addition, it will help identify differences in machine performance and, consequently, in operating costs with different orographic and woodland aspects. The treatment of the information will allow proper planning and will be a tool for support in decision-making aimed at improving efficiency and better crop management.

Keywords: forest harvesters; DSS; performance

EVALUACIÓN DE LOS DATOS CAPTURADOS POR COSECHADORAS FORESTALES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CAPACIDADES EFECTIVAS DE TRABAJO

En la actualidad las cosechadoras forestales están equipadas con computadoras capaces de capturar y procesar una gran cantidad de información sobre las características de cada uno de los árboles talados, la producción de cada una de las parcelas, así como los parámetros operativos de la cosechadora. Por otro lado, los esfuerzos para optimizar la silvicultura están aumentando, considerando no solo los aspectos relacionados con los costos operativos, sino también tratando de reducir la huella ambiental de las acciones emprendidas. En este contexto, un manejo adecuado de la información provista por las cosechadoras permitirá caracterizar con un alto grado de detalle la producción silvícola, permitiendo realizar comparaciones como modelos existentes, validando la información provista por ellos. Además, ayudará a identificar diferencias en el rendimiento de la máquina y, en consecuencia, en los costos operativos con distintos aspectos orográficos y del arbolado. El tratamiento de la información permitirá una planificación adecuada y constituirá una herramienta para el apoyo en la toma de decisiones destinadas a mejorar la eficiencia y un mejor manejo de los cultivos.

Palabras clave: cosechadoras forestales; SAD; rendimiento

Correspondencia: Carlos Amiama Ares

caramiama1@gmail.com



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La superficie forestal en Europa asciende a más de 182 millones de hectáreas, según la última estadística de la Unión Europea (European Union, 2019), de las cuales aproximadamente 19 millones se encuentran en territorio español, acorde a los datos que figuran en el anuario de estadística agraria (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018). Estos datos proporcionan una idea de la importancia que una adecuada planificación y gestión forestal suponen para el aprovechamiento de un recurso natural con un importante peso en el PIB. Atendiendo al dicho de que lo que no se define no se puede medir y lo que no se mide no se puede mejorar, es necesario caracterizar de forma precisa los recursos de nuestros bosques en aras de incrementar su productividad. Paralelamente es necesario optimizar las labores de aprovechamiento de los productos forestales para conseguir maximizar el retorno neto de explotación de nuestros montes.

En la actualidad las cosechadoras forestales están equipadas con ordenadores que permiten la captura y almacenamiento de una cantidad ingente de información, desde las características de tronco (diámetro, volumen, longitud, perfil,...), la densidad de arbolado, la ubicación de pies, etc., así como toda la información vinculada al funcionamiento de la cosechadora (consumos, horas de actividad, árboles procesados, regímenes de trabajo,...). Toda esta información es capturada de forma automática por sistemas de medida ubicados en el cabezal de la cosechadora, GPS, sensores implementados en el motor de la cosechadora,.. La información es registrada utilizando un protocolo estándar denominado StanForD (*Standard for Forest Data an Communication*) que es utilizado por gran parte de los fabricantes de equipos forestales para corta y transporte en todo el mundo (Arlinger y Möller, 2007).

Son numerosos los estudios desarrollados para la estimación de las existencias maderables que puede proporcionar una masa forestal. Generalmente se pretende conocer, además del volumen total de madera, qué parte de dicho volumen puede dirigirse a los diferentes destinos comerciales (desenrollo, aserrado, trituración, etc.). Las herramientas más habituales para realizar la clasificación por destinos de la madera de árboles en pie son las funciones de perfil de tronco (Avery y Burkhart, 2002). En ellas, el volumen clasificado de un rodal o de un lote de árboles se obtiene por agregación del volumen clasificado de los árboles que los componen (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009). Las variables que se requieren para el empleo de estas herramientas generalmente se obtienen mediante inventarios en campo, cuya precisión vendrá determinada por los errores de medición, de redondeo, de muestreo y de procesado (Murphy *et al.*, 2006).

Cuando los sistemas de medición de las cosechadoras forestales están correctamente calibrados, pueden llegar a proporcionar estimaciones más fiables que las obtenidas mediante los inventarios tradicionales, reduciendo además los costes (Murphy *et al.*, 2006). Adicionalmente si la cosechadora dispone de un sistema de posicionamiento puede realizarse una geolocalización de los lotes de árboles que han sido cortados desde una misma posición de la cosechadora, así como el período en que ese procesado se ha realizado. La inclusión en el sistema de la variable temporal permite extender el análisis de datos, desarrollando estudios de tiempos de cada uno de los subsistemas (apeo, desramado, tronzado, apilado,...) y por ende realizar estudios de productividad y rendimiento de los equipos. A posteriori, con la información generada pueden abordarse modelos de rendimiento del proceso de desrame-tronzado. Asimismo, la vinculación de los datos de rendimiento con parámetros de la parcela en la que realiza el aprovechamiento (pendiente, capacidad portante del terreno, superficie,...) y con las características de la masa arbórea existente, permite abordar estudios relativos a la incidencia de estas variables

en el rendimiento de las máquinas y, consecuentemente, en los costes de procesado (Burla, 2008; Fernandes *et al.*, 2013).

Como sucede en otros ámbitos agroforestales, la evolución hacia la denominada “silvicultura de precisión” implica la utilización de computadoras, sensores y otros componentes electrónicos para controlar los procesos a escala espacial y gestionar la variabilidad temporal. Se persigue que la tecnología ayude a realizar una gestión integral y sostenible de los recursos forestales. Esta gestión integral abarcará la planificación forestal, los procesos de aprovechamiento, la transformación de los productos del bosque e incluso la venta y reciclado de los productos, una vez han finalizado su vida útil.

Los mapas de rendimiento, con información sobre volúmenes y calidades a un determinado nivel de detalle, son una herramienta muy útil para la investigación y la toma de decisiones en la planificación forestal. La captura de información con calidad suficiente permitiría a los gestores forestales la correcta toma de decisiones en lo referente a niveles de fertilización a aplicar, densidad de plantación o variedades/especies a implantar en función de la ubicación. Asimismo, con esta información sería posible mejorar los modelos de crecimiento y producción, así como las funciones de perfil para la estimación de volúmenes comerciales. Ello también permitiría la discriminación geográfica (estratificación) en función de la productividad, posibilitando la correlación entre características fisiográficas y productividad (Ortiz *et al.*, 2006), a partir de los datos georreferenciados capturados por las cosechadoras en un sistema de información geográfica (SIG).

En el presente trabajo se analizará la potencialidad que ofrecen los actuales sistemas de gestión embarcados en las cosechadoras forestales, para la obtención de mayores rendimientos en las labores tala-desrame-tronzado.

2. Material y métodos

2.1 Descripción de los equipos

Para la realización de los ensayos se ha utilizado una cosechadora John Deere, modelo 1470E, equipada con un cabezal Waratah H415 (véase figura 1). El cabezal está accionado hidráulicamente y efectúa las operaciones de apeo, desrame y tronzado en una sola manipulación del árbol. Los componentes principales del cabezal son una sierra de cadena, un sistema de alimentación con cuatro rodillos motrices, cuatro cuchillas móviles y dos fijas para el desramado y el sistema de control TimberMatic© para el procesado del fuste. Este sistema realiza las mediciones a lo largo del tronco y el tronzado, permitiendo que el operador pueda trabajar con una longitud previamente definida o bien seleccionar distintas longitudes de trozas para la optimización del aprovechamiento de los árboles del rodal. La evaluación de la longitud es efectuada por fotocélulas que, en combinación con elementos físicos (rueda de medición), determinan las mediciones a partir del extremo mayor del árbol que está siendo procesado, por lo que normalmente se emplea la sierra de cadena como punto cero de la medición. Toda la información es enviada a través de una red CAN (*Control Area Network*) que conecta todos los elementos.

Adicionalmente ha sido necesario adquirir el módulo MGT 4G para la captura telemétrica de la información, así como para la georreferenciación de la información registrada por la cosechadora (véase figura 2). Para la visualización y registro en tiempo real de la información de la cosechadora se ha instalado el paquete de software TimberOffice© en los ordenadores del laboratorio de mecanización de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de la USC.

Figura 1: Cosechadora utilizada en los ensayos



Figura 2: módulo MGT 4G



Un aspecto que requiere especial atención es el relativo a la calidad de la información recogida, que ha de adecuarse a las necesidades del trabajo. Las lecturas, tanto de diámetro como de longitud, pueden ser inexactas, debido a la confluencia de una serie de factores externos. En lo que a la longitud se refiere las ruedas de medición pueden penetrar de diferente forma en la corteza, en función de la dureza de esta. Además, las discontinuidades en el tronco pueden ocasionar que las ruedas de medición recorran distancias mayores que las reales. Los errores en la medición del diámetro pueden ser debidos a que la sección del tronco sea oval, a que las cuchillas para desramado se inserten más o menos profundamente en función de la dureza de la corteza y a la presencia de nudos originadas por ineficiencias en el desramado (FPInnovations, 2015).

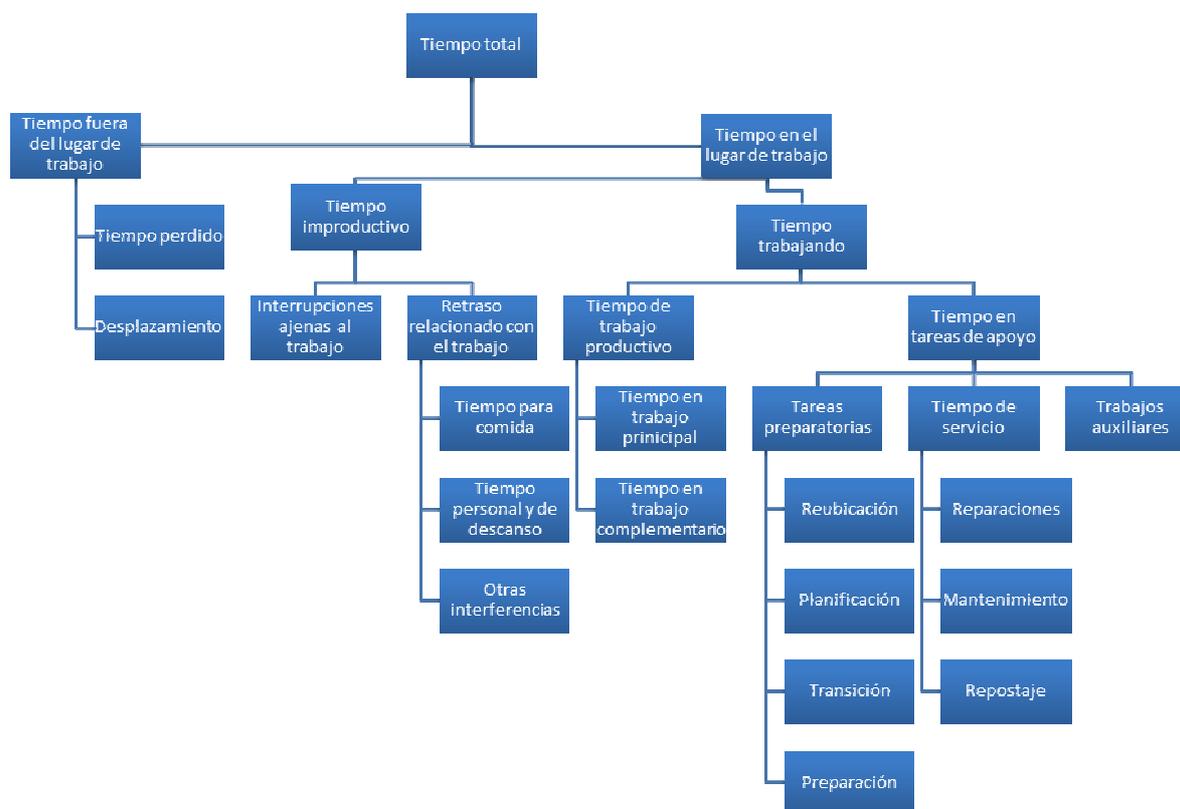
Consecuentemente la información recogida por los sensores y elementos mecánicos ha de ser filtrada a través de un mecanismo de calibración, para la correcta determinación del volumen. Los algoritmos de calibración incorporan información para corregir las variaciones debidas a nudos o bifurcaciones e introducen modelos para considerar la ovalidad del tronco, consiguiendo elevados niveles de precisión en las mediciones (Saathof, 2014; Standgard & Walsh, 2012). Para la realización del proceso de calibración se utilizan unos tubos de dimensiones conocidas, o bien se realizan mediciones paralelas con una forcípula en uno o varios troncos (árboles de calibración), introduciendo los valores en el software de calibración.

Otro aspecto que reviste especial importancia es la adecuada selección de la función para estimar el espesor de la corteza. La mayoría de las cosechadoras modernas tienen cuatro modelos incorporados (SkogForsk, 2012). Es necesario documentarse o realizar un muestreo para conocer la forma en que varía el espesor de corteza a lo largo del tronco y elegir el modelo más apropiado, pues una función de corteza utilizada incorrectamente puede dar lugar a errores de registros debido a la predicción incorrecta del diámetro en punta delgada y, por lo tanto, a una pérdida de valor significativa (Marshall *et al.*, 2006).

2.2 Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una de las técnicas más importantes del estudio del trabajo y su principio radica en el análisis crítico del tiempo consumido en los distintos elementos del trabajo para incrementar la eficiencia. El registro de todas las actividades de la cosechadora forestal permitirá realizar un detallado estudio de tiempos. Para la realización de dichos estudios se requiere una nomenclatura estandarizada para el ámbito forestal. En este trabajo utilizaremos la desarrollada por Rickards *et al.* (1995) para la "*International Union of Forestry Research Organizations*" (IUFRO), por ser la de mayor aplicación (véase figura 3).

Figura 3: Descomposición de tiempos de IUFRO (Rickards *et al.* 1995)



2.3 Estudio de rendimientos

El estudio de rendimientos es la ratio entre los tiempos totales en el lugar de trabajo y los volúmenes extraídos, expresado en metros cúbicos por hora (m³/hora). De acuerdo con lo señalado por Vignote *et al.* (1993), los principales factores que afectan el rendimiento de las cosechadoras forestales son:

- Factores orográficos y edáficos: destacan la pendiente del terreno, la pedregosidad, la configuración de las parcelas a cosechar y la adherencia (vinculada en muchos casos a la capacidad portante del terreno), que afectan de forma importante al rendimiento de la máquina, hasta el punto de que en muchos casos condicionan la posibilidad de su utilización.
- Factores geográficos: la latitud y la altitud influyen de forma directa en el rendimiento de los equipos forestales, la primera como consecuencia de su influencia en las horas de luz natural, y la segunda por la pérdida de potencia que experimenta la máquina.
- Factores climáticos: los fenómenos meteorológicos influyen directamente, en las labores de los equipos, debido a la acción que ejercen sobre el rendimiento del trabajador, al disminuir la visibilidad o incrementar la necesidad de concentración (por ejemplo en circunstancias de viento racheado que exigen un mayor cuidado al realizar el apeo).
- Factores de masa: la especie, la edad, la forma y tamaño de los árboles, las características y cantidad de corteza y de ramas, así como las características de la madera influyen de forma muy notable en el rendimiento de las cosechadoras.

- Factores humanos: la profesionalidad y la motivación influyen de forma directa en el rendimiento de la máquina.

3. Estado actual de los trabajos

Se están registrando datos desde febrero de 2020 en plantaciones de *Pinus radiata* distribuidas en varias ubicaciones de las provincias de Lugo y A Coruña. A continuación, se procede a relacionar la información registrada por el sistema MGT 4G y almacenada y procesada en el ordenador del laboratorio mediante el software TimberOffice©.

La información se agrupa por tipologías, en función de los datos ofrecidos:

1. Producción. En este epígrafe se registra, para cada parcela considerada:
 - a. Cantidad de árboles procesados (número).
 - b. Volumen total producido (m^3).
 - c. Volumen sin clasificar en productos comerciales (m^3).
 - d. Tamaño medio del árbol (m^3).
 - e. Distribución por categoría volumétrica del árbol.
 - f. % de producción del operador.
2. Productividad. En este epígrafe se registra, para cada parcela considerada:
 - a. Productividad. Ratio entre la producción total o la cantidad de troncos entre las horas trabajadas ($m^3/hora$ o árboles/hora).
 - b. Gráfico de productividad comparado con el objetivo o valor de referencia.
3. Utilización. En este epígrafe se registra:
 - a) Cantidad de días que ha estado trabajando la máquina.
 - b) Tiempo utilizado.
 - c) Tiempo de cosechado (apeo + procesado).
 - d) Desviación temporal, basada en un gráfico de valores.
4. Distribución del tiempo de trabajo. Muestra la división del tiempo de la máquina, entendiendo éste como el tiempo cuando el motor está encendido. El tiempo de la máquina se divide en las siguientes secciones:
 - a. Agarre y apeo del árbol. Mide el tiempo entre el final del procesado y el inicio del siguiente procesado. El tiempo después del último tronzado y el apagado del motor no se computa en esta sección. El primer tiempo de agarre va desde el encendido del motor hasta el primer apeo. Si supera los 150 segundos se ignora y se computa en otro tiempo.
 - i. Conducción de la máquina.
 - ii. Solo brazo.
 - iii. Brazo y conducción.
 - iv. Cabezal de cosechado activo.
 - b. Procesamiento. Mide el tiempo desde el corte de apeo hasta el final del procesado (desramado y tronzado).
 - c. Motor encendido. Registra cuando el motor está encendido pero la máquina no está realizando ningún trabajo al no haber funciones activadas (brazo, cabezal de cosechado...), tanto a altas como bajas rpm del motor.
 - d. Otro tiempo. Computa el tiempo que no se incluye en las demás secciones mientras el motor está encendido.
5. Consumo. En este epígrafe se registra:

- a) Distancia de conducción (km, valor que indica la distancia total que se ha desplazado la máquina).
 - b) Promedio de régimen de trabajo (revoluciones por minuto - rpm).
 - c) Consumo total de combustible (l).
 - d) Consumo medio de combustible (l).
 - e) Consumo de combustible por fases de trabajo (l).
 - i. Total. Consumo medio durante todas las fases de trabajo (incluyendo el tiempo en que no se trabaja pero el motor está encendido).
 - ii. Alimentación. Consumo medio durante el funcionamiento del sistema de alimentación del cabezal de cosecha.
 - iii. Apeo. Consumo medio durante el corte del apeo.
 - iv. Procesado. Consumo medio durante el procesado (desrame y tronzado).
 - v. Solo brazo. Consumo medio durante el uso del brazo de la grúa.
 - vi. Conducción. Consumo medio con la máquina en movimiento.
 - f) Consumo de combustible comparado con el volumen medio del árbol (l).
6. Rendimiento del cabezal cosechador. En este epígrafe se registra:
- a. Velocidad de alimentación y distribución de rpm de motores de alimentación.
 - b. Velocidad de aserrado y distribución de rpm de motor de sierra.
 - c. Aceleración de la alimentación.
 - d. Agarre del tronco.

En cuanto sea posible, se realizarán mediciones en varias parcelas antes de su aprovechamiento mediante la cosechadora forestal. Concretamente, en cada ubicación recogeremos, mediante procedimientos de inventario tradicional en campo, la información necesaria para realizar una cubicación de la masa forestal clasificada por productos comerciales, utilizando para ello una aplicación basada en una función de perfil de tronco apropiada para la especie objeto de estudio. Estos datos se compararán con las estimaciones de volumen por destinos comerciales proporcionadas por la cosechadora forestal, una vez realizado el aprovechamiento de las parcelas.

4. Conclusiones

El desarrollo tecnológico del que se han beneficiado las cosechadoras forestales en los últimos años permite la captura de una cantidad ingente de información vinculada, tanto a aspectos de la cantidad y calidad de la madera procesada, como de los parámetros de funcionamiento de los equipos. Adicionalmente, la introducción del componente de localización posibilita la realización de estudios geoestadísticos de producción y rendimiento.

No obstante, es necesario profundizar en aspectos relacionados con la calidad de la información obtenida. Para ello se precisa en primer lugar una adecuada calibración de los equipos. Pero además es necesario ahondar en el estudio de las funciones de corteza, de perfil y de volumen, contrastando la información obtenida con datos recogidos manualmente, en aras a mejorar los ajustes obtenidos con dichas funciones.

5. Bibliografía

- Avery, T.E., Burkhart, H.E. (2002). Forest measurements. McGraw-Hill. 5th ed., New York.
- Arlinger, J., Möller, J. (2007). Information exchange with CTL machines, recent development of StanforD. A comunicación standart. *3rd Forest Enginnering Conference*, Mont-Tremblant, Quebec, Canada.

- Burla, E.R. (2008). Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita do eucalipto. *Magister Scientiae Dissertation*, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa Minas Merais – Brazil. Retrieved from www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/burla,er.pdf
- Diéguez-Aranda, U., Rojo Alboreca, A., Castedo-Dorado, F., Álvarez González, J.G., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F., González González, J.M., Pérez-Cruzado, C., Rodríguez Soalleiro, R., López-Sánchez, C.A., Balboa-Murias, M.A., Gorgoso Varela, J.J., Sánchez Rodríguez, F. (2009). Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Xunta de Galicia.
- European Union (2019). Agriculture, forestry and fishery statistics. Belgium. Office of the European Union
- Fernandes, H.C., Burla, E.R., Leite, E.d.S., Minette, L.J. (2013). Technical and economic evaluation of a harvester under different terrain and forest productivity conditions. *Scientia Forestalis*, 41(97):145–151.
- FPInnovations. (2015). Harvesting operations. Obtenido en página web FP Innovations: <https://fpinnovations.ca/ResearchProgram/Pages/research-program-forest-operations-harvesting.aspx>
- Marshall, H., Murphy, G., Lachenbruch, B. (2006). Effects of bark thickness estimates on optimal log merchandising. *Forest Product Journal*, 56, 87-92.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2018). *Anuario de Estadística*. Madrid. Secretaría general técnica.
- Murphy, G., Wilson, I., Barr, B. (2006). Developing methods for pre-harvest inventories which use a harvester as the sampling tool. *Australian Forestry*, 69(1): 9-15
- Ortiz, J.L., Vettorazzi, C.A., Couto, H.T.Z., Goncalves, J.L. (2006). Spatial relationship between productive potential of eucalypt and attributes of soil and relief. *Scientia Forestalis*, 72: 67–79.
- Rickards J, Skaar R, Haberle S, Apel K, Bjorheden R , Thompson M.(1995). Forest work study nomenclature. *International Union of Forest Research Organizations WP 3.04.02*. Test edition valid 1995-2000. 16pp.
- Saathof, D. (2014). Assessing measurement accuracy and productivity of a Waratah 625c Processing Head. *Christchurch: New Zealand School of Forestry - University of Canterbury*.
- SkogForsk. (2012). Obtenido en http://www.skogforsk.se/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/appendix1_eng_120418.pdf
- Standgard, M., & Walsh, D. (2012). Assessing measurement accuracy of harvester heads in Australian pine plantations. *CRC for Forestry*.
- Vignote, S.; J. Martos; M. González. 1993. Los tractores en la explotación forestal. Madrid, *Ediciones Mundi-Prensa*. 150p.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

