



Fig. 2. Variación en la producción maderable con modelo PPME con $\lambda = 0$ (a); $\lambda = 0,5$ (b) y $\lambda = 1$ (c). El eje izquierdo representa los porcentajes de variación y el derecho los niveles de producción en toneladas.

La producción para $\lambda = 0$ es de 1.280.975tn con una variación acumulada de más de 30%. Para $\lambda = 0,5$ la producción fue de 1.268.657tn y casi 20% de variación acumulada. Para $\lambda = 1$ la producción fue de 1.268.409tn con una variación acumulada de casi 17%. Por lo tanto el modelo Minimax puro genera una mayor producción pero con un peor balance. En cambio los planteos mixto y ponderado puro generan mejores balance con una caída de la producción menor a 1%. Al igual que en el modelo determinista, este efecto se debe al mayor peso otorgado al objetivo control de volumen.

Las diferencias obtenidas entre los modelos determinista y estocástico se pueden entender a la luz de cómo se incrementan las dimensiones en función al número de escenarios. Para $\lambda = 0$ la solución del modelo estocástico arroja un nivel de producción de 1,1% por encima del determinista. Sin embargo, para $\lambda = 0,5$ y $\lambda = 1$, el modelo determinista genera una producción mayor en el orden de 0,4 y 1,9%. En los tres casos el modelo determinista logra mejor balance de producción inter-anual.

4 CONCLUSIONES

Aunque el modelo desarrollado se aplicó en un escenario simulado, puede inferirse su buen desempeño para casos reales de programación de cosecha forestal, ya que a diferencia de los trabajos usuales en este campo [13, 14, 15], se incluyeron los subproductos del bosque, lo que permite balancear la producción y el transporte multi-producto y multi-planta.

El uso de PPMD y PPME muestra dos paradigmas para plantear un plan de manejo forestal. El primero supone una tasa constante en toda la vida del proyecto, lo que fue criticado en [17] y [18]. La alternativa incorpora aleatoriedad en la tasa de descuento

en función a un parámetro macroeconómico (el IPC) sujeto a una distribución de probabilidades. Aunque generalmente los logros en OD son mayores a OE, los resultados de este último enfoque son más robustos.

Las soluciones PPMD y PPME presentan mejor performance con λ igual a 0,5 y 1 ya que se balancea mejor la producción. Este objetivo es el más buscado ya que permite una producción sustentable a perpetuidad.

Los resultados fueron adecuados y proponen un interesante enfoque para la resolución de problemas de gestión de bosques cultivados. La aplicación a un caso real es el próximo paso para esta investigación.

5 Agradecimiento

Al CONICET por el apoyo económico brindado.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Buongiorno, J., Gilles, J.: Decision Methods for Forest Resource Management. Academia Press, California (2003)
2. Bettinger, P., Boston, K., Siry, J., Grebner, D.: Forest Management and Planning. Academic Press. California (2009)
3. Schneider, P.: Mnanajo Florestal: Planejamento da Produção Florestal. Universidade Federal de Santa Maria. Santa María (2008)
4. Rehman, T., Romero, C.: Goal Programming with Penalty Functions and Livestock Ration Formulation. Agricultural Systems. 23, 117-132 (1987)
5. Diaz-Balteiro, L., Romero, C.: Multiple Criteria Decision-Making in Forest Planning: Recent Results and Current Challenges. In Weintraub, A., Romero, C., Bjørndal, T., Epstein, R., Miranda, J. Handbook Of Operations Research In Natural Resources. pp 473-488. Springer, New York (2007)
6. Diaz-Balteiro, L., Gonzalez-Pachón, J., Romero, C.: Goal Programming in Forest Management: Customising Models for the Decision-maker's Preferences. Scandinavian Journal of Forest Research. 28, 166-173 (2013)
7. Simon, H.: A Behavioral Model of Rational Choice. The Quarterly Journal of Economics. 69, 99-118 (1955)
8. Charnes, A., Cooper, W.: Management Models and Industrial Applications of Linear Programming. John Wiley and Sons,. New York (1961)
9. Cohon, J.: Multiobjective Programming and Planning. Academic Press. New York (1978)
10. Field, D. B.: Goal Programming for Forest Management. Forest Science. 19, 125-135. (1973)
11. Romero, C., Rehman, T.: Goal Programming and Multiple Criteria Decision Making in Farm Planning: An Expository Analysis. Journal of Agricultural Economics. 35, 177-190 (1984)
12. Romero, C.: Handbook of Critical Issues in Goal Programming. Pergamon Press. Oxford (1991)

13. Diaz-Balteiro, L., Rodriguez, L.: Optimal Rotations on Eucalyptus Plantations Including Carbon Sequestration - A Comparison of Results in Brazil and Spain. *Forest Ecology and Management*. 229, 247-258 (2006)
14. Diaz-Balteiro, L., Bertomeu, M., Bertomeu, M.: Optimal Harvest Scheduling in Eucalyptus Plantations: A Case Study in Galicia (Spain). *Forest Policy and Economics*. 11, 548-554 (2009)
15. Giménez, J., Bertomeu, M., Diaz-Balteiro, L., Romero, C.: Optimal Harvest Scheduling in Eucalyptus Plantations Under a Sustainability Perspective. *Forest Ecology and Management*. 291, 367-376 (2013)
16. Sant'Anna, A. Nogueira, J.: Valoração Econômica Dos Serviços Ambientais de Florestas Nacionais. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia* 2, 82-108 (2010)
17. Milanesi, G., Broz, D., Woitschach, G.: Opciones Reales para Determinar el Turno Óptimo en Sistemas Silvopastoriles: Análisis de Inversion. *Madera y Bosques* 19, 81-98 (2013)
18. Broz, D., Woitschach, G., Milanesi, G.: Opções Reais na Determinação da Idade Ótima de Colheita para Dois Manejos Florestais. *Revista Cerne* 20, 781-788 (2014)
19. Dantzig, G.: *Linear Programming Under Uncertainty*. *Management Science* 1, 197-206 (1955)
20. Beale, E.: On Minimizing a Convex Function Subject to Linear Qualities. *Journal of the Royal Statistical Society*. 17, 173-184 (1955)
21. Markowitz, H.: *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*. John Wiley & Sons, New York (1959)
22. Benders, J.: Partitioning Procedures for Solving Mixed-Variables Programming Problems. *Numerische Mathematik*. 4, 238-252 (1962)
23. Dantzig, G.: *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press, Princeton, (1963)
24. Limaei, S.: Risk Management in Forestry; Economics Perspectives. In: 3rd International Conference on Advanced Management Science, pp. 160-164. IACSIT Press, Singapore (2011)
25. Oliveira, E. B.: *Softwares para Manejo e Análise Econômica de Plantações Florestais*. Embrapa Florestas. Colombo, (2011)
26. Martos, M.: *Programación Estocástica*. Universidad Complutense de Madrid (1998)
27. Jacobo, J.: Un Enfoque Robusto a un Problema de Diseño de Red Multiproducto con Incertidumbre en los Parámetros de Entrada. Universidad Autónoma de Nueva León. Nuevo León (2005)
28. Bereanu, B.: Some Numerical Methods in Stochastic Linear Programming Under Risk and Uncertainty. In Dempster, M. (eds.) *Stochastic programming*. pp. 69-205. Academic Press, Londres (1980)
29. Stancu-Minasian, I., Tigan, S.: The Vectorial Minimum Risk Problem. In: *Proceedings of the Colloquium on Approximation and Optimization*. pp. 321-328. Cluj-Napoca (1984)
30. Kall, P.: *Stochastic Programming*. *European Journal of Operational Research*, 10, 125-130 (1982)
31. Infanger, G.: *Stochastic Programming*. International Series in Operations Research & Management Science. Springer, Stanford (2011)
32. Ramos, A., Cerisola, S.: *Optimización Estocástica*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid (2014)
33. Lindo System Inc: *Lindo Api Users Manual*, (2013)
<http://web.ist.utl.pt/ist11038/util/LindoAPI.pdf>

34. Ferris, M., Dirkse, S., Jagla, J., Meeraus, A.: An Extended Mathematical Programming Framework. *Computers & Chemical Engineering*. 33, 1973–1982 (2009)
35. McCarl, B. A., Meeraus, A., Van Der Eijk, P., Bussieck, M., Dirkse, M., Steacy, P.: *McCarl GAMS User Guide*, (2013)
http://www.gams.com/dd/docs/bigdocs/gams2002/mccarlgamsuserguide_web.pdf
36. GAMS Development Corporation: *The solvers manuals*, (2014)
<http://www.gams.com/dd/docs/solvers/allsolvers.pdf>
37. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). Serie histórica del Índice de Precios al Consumidor (IPC) en el Gran Buenos Aires
http://www.indec.gov.ar/principal.asp?id_tema=729
38. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC): *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*, (2003)
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_languages.html
39. Diaz-Balteiro, L., Romero, C.: Modeling Timber Harvest Scheduling Problems with Multiple Criteria: An Applications in Spain. *Forest Science*. 44, 47-57 (1998)