
Nombre del curso: Silvicultura de sistemas forestales complejos: adaptación y resiliencia

Curso Acreditado a Carreras de Posgrado Especialización, Maestrías y Doctorado
(Artículo 3 de la Ordenanza CS N°261/19)

Docente Responsable:

Dra. Corina Graciano (INFIVE-CONICET-FCAyF-UNLP, Argentina)

Docente Corresponsable:

Dr. Andrés Bravo Oviedo (CSIC-MNCN, España)

Docentes:

Docentes:

Dra. Flavia Y. Olguin (CITNOBA-CONICET, Argentina)

Ing. Forestal Juan F. Goya (LISEA-FCAyF-UNLP, Argentina)

Dr. Diego Martín Sandoval (LISEA-FCAyF-UNLP, Argentina)

Dra. Miren del Río (CSIC-ICIFOR-INIA, España)

Dr. Ricardo Ruiz Peinado (CSIC-ICIFOR-INIA, España)

Dr. Gabriel Logüercio (CIEFAP, Argentina)

Dr. Felipe Bravo Oviedo (Universidad de Valladolid, España)

Carga Horaria: 90hs

Fundamentación de la Propuesta

Los sistemas forestales están sujetos a variaciones en la disponibilidad de recursos a lo largo de su desarrollo, y el manejo de dichos sistemas debe garantizar cumplir con los objetivos que se hayan planteado para dicho sistema forestal. En el contexto del cambio climático, los estreses a los que están sujetos los sistemas productivos son cada vez más frecuentes e intensos, más estocásticos y por tanto menos

predecibles. La silvicultura en este contexto debe adaptarse a estas nuevas condiciones, ya sea con la selección de materiales genéticos mejor adaptados a las nuevas condiciones, y también con la adopción de herramientas de manejo que aumenten la resistencia y resiliencia de los sistemas frente a los nuevos disturbios. Sumado a estos cambios ambientales, existe presión de actores sociales para cambiar algunas prácticas frecuentes, ya sea porque generan impacto negativo en la estética del paisaje, como porque ya ha sido ampliamente documentado que degradan el suelo y el aire o generan otros impactos sociales negativos. Además de los cambios climáticos y sociales, la estabilidad en la rentabilidad de la producción forestal también está en riesgo, tanto por las variaciones de los precios de insumos y del producto, como por los cambios en el consumo que se pueden prever a mediano y largo plazo. La certificación de madera para acceder a determinados mercados y la venta de bonos de carbono son realidades que ya impactan a la producción forestal.

En este contexto, se torna relevante repensar las prácticas silvícolas y poner en juego conocimientos del funcionamiento de los árboles y los ecosistemas forestales para crear una silvicultura acorde a la nueva realidad. Dentro de los consensos en la disciplina, la construcción de estructuras forestales más complejas, multiespecíficas y multietáneas brindan las mejores oportunidades para aumentar la resistencia y resiliencia de los sistemas forestales. Sin embargo, es indudable que dicha complejización implica muchos desafíos al momento de decidir las prácticas silvícolas. Este curso ofrece un espacio para profundizar los conocimientos ecofisiológicos, ecológicos y silvícolas, y ponerlos en diálogo con una nueva silvicultura que tienda a que los sistemas forestales, sean nativos o implantados, tengan las funciones ecológicas que garanticen su estabilidad en el tiempo y tiendan a la sustentabilidad ambiental, social y económica.

Objetivos:

El objetivo general es identificar los procesos ecofisiológicos que ocurren a nivel de árbol que se relacionan con las interacciones a nivel de población y comunidad y que justifican las decisiones silvícolas a realizar en rodales mixtos y en la conversión de rodales puros a mixtos.

- Comprender las ventajas de conocer las respuestas ecofisiológicas del árbol individual, de las poblaciones y comunidades en el manejo de sistemas forestales en ambientes cambiantes.
- Identificar las ventajas ecológicas de los rodales mixtos en comparación con los rodales puros.
- Aumentar la creatividad en el manejo de sistemas forestales en el contexto del cambio climático.

Contenidos:

Módulo fisiológico (18 horas= 9 h clases sincrónicas + 9 h trabajo asincrónico)

Unidad 1: El uso del agua y los nutrientes en los sistemas forestales en el contexto del cambio climático. Adaptaciones y aclimataciones de los árboles al déficit y exceso de agua y nutrientes. Ciclado de nutrientes en sistemas forestales con y sin cosecha. Impacto de la fertilización y el riego en el crecimiento, partición de materia seca, interacción con microorganismos y ciclado de nutrientes.

Unidad 2: El uso de la luz en los sistemas forestales. Escalado desde la planta a las comunidades. Impacto de la estructura y composición del rodal en el uso de la luz. Interacción con la disponibilidad de agua y nutrientes. Efecto del raleo y la poda en el uso de la luz. Efecto de las prácticas silvícolas en la fijación de carbono y acumulación de biomasa del rodal.

Unidad 3: Estructura de las masas complejas y su relación con el uso de la luz, el agua y los nutrientes. Tolerancia a los estreses bióticos y abióticos. Modificación de los procesos ecológicos y fisiológicos en la estructura de los rodales (ej disturbios y mortalidad en la disponibilidad de recursos que a su vez afecta la estructura futura).

Módulo estructura y dinámica de los rodales complejos (18 horas= 9 h clases sincrónicas + 9 h trabajo asincrónico)

Unidad 4: Los bosques nativos de la Argentina. Estructura y composición. Las plantaciones forestales en la Argentina. Rasgos característicos. Una mirada comparativa. Los Sistemas Silvícolas. Planificación silvícola. El Bosque y el Rodal. Silvicultura intensiva. Concepto y aplicación del Rodal Objetivo (RO). Metodologías para su determinación. Diagramas de manejo de la densidad (DMD), Serie Mínima para rodales disetáneos. Modelos y simuladores de rendimiento. Turno y ciclo de corta.

Unidad 5: Crecimiento y dinámica de rodales coetáneos, discetáneos y multietáneos, puros y mixtos. Relaciones interespecíficas e intraespecíficas a nivel de individuo y población. Competencia y facilitación.

Unidad 6: Relación entre la biodiversidad y la resiliencia del árbol individual y de los rodales puros y mixtos, coetáneos y multietáneos. Complementariedad en el uso de los recursos. Biodiversidad alfa, beta y gamma. Regulación entre las poblaciones de una comunidad. Funciones y servicios ecosistémicos de los sistemas forestales. Resistencia, recuperación y resiliencia diferencial entre especies forestales frente a los estreses y a los disturbios.

Módulo silvicultura de rodales complejos (18 horas= 9 h clases sincrónicas + 9 h trabajo asincrónico)

Unidad 7: Principales prácticas silvícolas utilizadas en plantaciones forestales y bosques nativos. Silvicultura de rodales mixtos y complejos nativos y de regeneración espontánea. Silvicultura adaptativa. Indicadores de competencia individual. Selección de árboles de porvenir. Conversión de rodales puros coetáneos post disturbio a estructuras más complejas.

Unidad 8: Silvicultura de plantaciones complejas. Estrategias de adaptación. Combinación de especies con diferentes usos de recursos. Diferentes mezclas de genotipos (especies, procedencias, clones). Impacto de las mezclas en las prácticas silvícolas habituales (replantación, poda, raleo, fertilización, cosecha). Seminario: Plantación mixta con fines productivos (FORMIX, <https://formix.plantedforests.org/the-network/>)

Unidad 9: Conceptos básicos para la elaboración, evaluación y uso de modelos en la gestión y planificación forestal. Uso de los modelos de simulación forestal para explorar las consecuencias de los tratamientos silvícolas y sus implicaciones para la planificación forestal. Definición, tipos y componentes de modelos. Elaboración, evaluación, uso y calibrado de modelos. Introducción a la plataforma SIMANFOR.

Informe final (36 horas= 3h clases sincrónicas + 33 h trabajo asincrónico)

Aplicación de los contenidos del curso en la resolución de un caso real o ficticio.

Bibliografía:

Amazonas, N.T., Forrester, D.I., Silva, C.C., de Almeida, D.R.A., Oliveira, R.S., Rodrigues, R.R., and Brancalion, P.H.S. 2021. Light- and nutrient-related relationships in mixed plantations of Eucalyptus and a high diversity of native tree species. *New Forests* (0123456789). Springer Netherlands. doi:10.1007/s11056-020-09826-x.

Amazonas, N.T., Forrester, D.I., Silva, C.C., Almeida, D.R.A., Rodrigues, R.R., and Brancalion, P.H.S. 2018. High diversity mixed plantations of Eucalyptus and native trees: An interface between production and restoration for the tropics. *Forest Ecology and Management* 417(March): 247–256. Elsevier. doi:10.1016/j.foreco.2018.03.015.

Bannister, J.R., Donoso, P.J., and Mujica, R. 2016. Silviculture as a tool for restoration of temperate forests. *Bosque (Valdivia)* 37(2): 229–235. doi:10.4067/S0717-92002016000200001.

Bansal, S., Hallsby, G., Löfvenius, M.O., and Nilsson, M.C. 2013. Synergistic, additive and antagonistic impacts of drought and herbivory on *Pinus sylvestris*: Leaf, tissue and whole-plant responses and recovery. *Tree Physiology* 33: 451–463. doi:10.1093/treephys/tpt019.

Benavides, R., Scherer-Lorenzen, M., and Valladares, F. 2019. The functional trait space of tree species is influenced by the species richness of the canopy and the type of forest. *Oikos* 128(10): 1435–1445. doi:10.1111/oik.06348.

Bhusal, N., Lee, M., Lee, H., Adhikari, A., Han, A.R., Han, A., and Kim, H.S. 2021. Evaluation of morphological, physiological, and biochemical traits for assessing drought resistance in eleven tree species. *Science*

doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146466. of The Total Environment 779: 146466.
doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146466.

Bravo, F., Ordóñez, C., Vázquez-Veloso, A., and Michalakopoulos, S. 2025. SIMANFOR cloud Decision Support System: Structure, content, and applications. *Ecological Modelling* 499: 110912. doi:10.1016/j.ecolmodel.2024.110912.

Bravo-Oviedo, A., Pretzsch, H., and Del Río, M. (Editors). 2018. *Dynamics, silviculture and management of mixed forests*. Springer International Publishing.

Brumelis, G., Jonsson, B., Kouki, J., Kuuluvainen, T., and Shorohova, E. 2011. Forest naturalness in northern Europe: perspectives on processes, structures and species diversity. *Silva Fenn.* 45(5). doi:10.14214/sf.446.

Brunner, A., and Forrester, D.I. 2020. Tree species mixture effects on stem growth vary with stand density – An analysis based on individual tree responses. *Forest Ecology and Management* 473(March): 118334. Elsevier. doi:10.1016/j.foreco.2020.118334.

Chmura, D.J., and Tjoelker, M.G. 2008. Leaf traits in relation to crown development, light interception and growth of elite families of loblolly and slash pine. *Tree Physiology* 28(5): 729–742. doi:10.1093/treephys/28.5.729.

Del Río, M., Pretzsch, H., Ruiz-Peinado, R., Jactel, H., Coll, L., Löf, M., Aldea, J., Ammer, C., Avdagić, A., Barbeito, I., Bielak, K., Bravo, F., Brazaitis, G., Cerný, J., Collet, C., Condés, S., Drössler, L., Fabrika, M., Heym, M., Holm, S., Hysten, G., Jansons, A., Kurylyak, V., Lombardi, F., Matović, B., Metslaid, M., Motta, R., Nord-Larsen, T., Nothdurft, A., Den Ouden, J., Pach, M., Pardos, M., Poeydebat, C., Ponette, Q., Pérot, T., Reventlow, D.O.J., Sitko, R., Sramek, V., Steckel, M., Svoboda, M., Verheyen, K., Vospernik, S., Wolff, B., Zlatanov, T., and Bravo-Oviedo, A. 2022. Emerging stability of forest productivity by mixing two species buffers temperature destabilizing effect. *Journal of Applied Ecology* 59(11): 2730–2741. doi:10.1111/1365-2664.14267.

Fajardo, A., and Piper, F.I. 2021. How to cope with drought and not die trying: Drought acclimation across tree species with contrasting niche breadth. *Functional Ecology* 35(9): 1903–1913. doi:10.1111/1365-2435.13861.

Fernández-Tschieder, E., Binkley, D., and Bauerle, W. 2020. Production ecology and reverse growth dominance in an old-growth ponderosa pine forest. *Forest Ecology and Management* 460(January): 117891. Elsevier. doi:10.1016/j.foreco.2020.117891.

Keith, D.A., Ferrer-Paris, J.R., Nicholson, E., Bishop, M.J., Polidoro, B.A., Ramirez-Llodra, E., Tozer, M.G., Nel, J.L., Mac Nally, R., Gregr, E.J., Watermeyer, K.E., Essl, F., Faber-Langendoen, D., Franklin, J., Lehmann, C.E.R., Etter, A., Roux, D.J., Stark, J.S., Rowland, J.A., Brummitt, N.A., Fernandez-Arcaya, U.C., Suthers, I.M., Wiser, S.K., Donohue, I., Jackson, L.J., Pennington, R.T., Iliffe, T.M., Gerovasileiou, V., Giller, P., Robson, B.J., Pettorelli, N., Andrade, A., Lindgaard, A., Tahvanainen, T., Terauds, A., Chadwick, M.A., Murray, N.J., Moat, J., Plischoff, P., Zager, I., and Kingsford, R.T. 2022. A function-based typology for Earth's ecosystems. *Nature* 610(7932): 513–518. doi:10.1038/s41586-022-05318-4.

Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas -posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido.* GTZ GmbH, Eschborn.

Landsberg, J.J., and Gower, S.T. 1997. *Applications of physiological ecology to forest management.* Academic Press, San Diego.

Larsen, J.B., Angelstam, P., Bauhus, J., Carvalho, J.F., Diaci, J., Dobrowolska, D., Gazda, A., Gustafsson, L., Krumm, F., Knoke, T., Konczal, A., Kuuluvainen, T., Mason, B., Motta, R., Pötzelsberger, E., Rigling, A., and Schuck, A. 2022. *Closer-to-Nature Forest Management.* European Forest Institute. doi:10.36333/fs12.

Messier, C., Bauhus, J., Sousa-Silva, R., Auge, H., Baeten, L., Barsoum, N., Bruelheide, H., Caldwell, B., Cavender-Bares, J., Dhiedt, E., Eisenhauer, N., Ganade, G., Gravel, D., Guillemot, J., Hall, J.S., Hector, A., Hérault, B., Jactel, H., Koricheva, J., Kreft, H., Mereu,

S., Muys, B., Nock, C.A., Paquette, A., Parker, J.D., Perring, M.P., Ponette, Q., Potvin, C., Reich, P.B., Scherer Lorenzen, M., Schnabel, F., Verheyen, K., Weih, M., Wollni, M., and Zemp, D.C. 2022. For the sake of resilience and multifunctionality, let's diversify planted forests! *CONSERVATION LETTERS* 15(1): e12829. doi:10.1111/conl.12829.

Messier, C., Puettmann, K., Chazdon, R., Andersson, K.P., Angers, V.A., Brotons, L., Filotas, E., Tittler, R., Parrott, L., and Levin, S.A. 2015. From Management to Stewardship: Viewing Forests As Complex Adaptive Systems in an Uncertain World. *CONSERVATION LETTERS* 8(5): 368–377. doi:10.1111/conl.12156.

Nguyen, H., Firn, J., Lamb, D., and Herbohn, J. 2014. Wood density: A tool to find complementary species for the design of mixed species plantations. *Forest Ecology and Management* 334: 106–113. doi:10.1016/j.foreco.2014.08.022.

Oliver, C., and Larson, B. 1996. *Forest stand dynamics: updated edition*. John Wiley and Sons. Pretzsch, H. 2020. The course of tree growth. Theory and reality. *Forest Ecology and Management* 478(August): 118508. Elsevier. doi:10.1016/j.foreco.2020.118508.

Vospernik, S., Heym, M., Pretzsch, H., Pach, M., Steckel, M., Aldea, J., Brazaitis, G., Bravo-Oviedo, A., Del Rio, M., Löf, M., Pardos, M., Bielak, K., Bravo, F., Coll, L., Černý, J., Droessler, L., Ehbrecht, M., Jansons, A., Korboulewsky, N., Jourdan, M., Nord-Larsen, T., Nothdurft, A., Ruiz-Peinado, R., Ponette, Q., Sitko, R., Svoboda, M., and Wolff, B. 2023. Tree species growth response to climate in mixtures of *Quercus robur*/*Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* across Europe - a dynamic, sensitive equilibrium. *Forest Ecology and Management* 530: 120753. doi:10.1016/j.foreco.2022.120753.

Zhang, G., Hui, G., Hu, Y., Zhao, Z., Guan, X., Gadow, K. von, and Zhang, G. 2019. Designing near natural planting patterns for plantation forests in China. *Forest Ecosystems* 6(1). *Forest Ecosystems*. doi:10.1186/s40663-019-0187-x.

Metodología: Por cada clase sincrónica, las y los estudiantes dedicarán 3 horas a la lectura de materiales, mirar videos o presentaciones con audio y responder al cuestionario de autoevaluación. Luego, en el encuentro sincrónico tendrán 2 horas de exposición del docente, y una hora de seminario que consistirá en la discusión de trabajos científicos, gráficos o demás materiales adecuados para dar un cierre al tema. Finalmente para la elaboración del Informe final, dedicarán 3 horas en seminario sincrónico y 30 horas de trabajo autónomo.

Destinado a: (Restricciones). Graduados de carreras universitarias de grado de al menos 4 años de duración, relacionadas a la producción forestal (Ingeniería Forestal, Ingeniería Agronómica, Biología y carreras afines).

Otros datos:

Se requieren conocimientos básicos de fisiología vegetal, ecología y silvicultura. Se brindará material nivelatorio previo al inicio del curso, para ser leído en caso de que él o la estudiante lo consideren necesario. Es indispensable poder leer textos en inglés.

Se requiere conectividad a internet y un dispositivo que permita trabajar en el Aula Virtual en las actividades asincrónicas y participar con imagen y voz en los seminarios sincrónicos.