



## Carátula

**Denominación de la Actividad Curricular:** Introducción a la Investigación de Operaciones

**Carreras a la que pertenece:** Ambas carreras

**Modalidad:** Curso

**Carácter:** Optativo

**Planes de estudios a los que se aplica:** Plan 2005 (versiones 8 y 8i)

**Espacio Curricular (Bloque):** Tecnologías Aplicadas - Agronómico Aplicado

**Duración total (semanas):** Doce (12)

**Carga horaria total (horas):** Sesenta (60)

**Carga horaria semanal:** Cinco (5)

**Cuatrimestre de inicio:** Indistinto

**Asignaturas correlativas previas:** Socioeconomía (para estudiantes de Ingeniería Agronómica) o Introducción a la Administración (para estudiantes de Ingeniería Forestal).

**Objetivo general:** Promover el desarrollo de habilidades para la identificación de problemas de decisión y su representación mediante modelos matemáticos que puedan ser optimizados. Comprender y resolver prácticamente los principales modelos prototípicos de la disciplina.

**Contenidos mínimos:** Introducción a la Investigación Operativa. Programación lineal. Programación por metas. Programación entera y binaria. Modelos de redes. Gestión de proyectos.

**Metodología de enseñanza:** El curso, espacio de interacción entre docentes y estudiantes, es la instancia más relevante para el logro de los objetivos pedagógicos propuestos. Todos los encuentros presenciales serán teórico-prácticos, con lectura previa señalada y espacios para la exposición y discusión grupal de los aspectos teóricos más relevantes. Luego se plantearán situaciones problemáticas que requieran decisiones para su solución, con la consigna de representarlas como modelos matemáticos. Los modelos se implementarán en planillas de cálculo o en un lenguaje de modelado algebraico. Luego de resueltos, las soluciones obtenidas serán analizadas con relativa profundidad. La ejemplificación con situaciones reales y el estudio de casos seleccionados por pertinencia profesional reforzarán la formación buscada. Las evaluaciones previstas y la producción grupal que se asignará tendrá las mismas motivaciones y enfoques.

**Sistema de promoción:** Como alumno regular sin examen final y como alumno libre con examen final.

**Cupo:** cuatro estudiantes como mínimo y sin límite máximo.

**Créditos:** seis créditos.

**Expediente:** 200-1101/15.

**Resolución de aprobación:** Resolución CD N° 247/2018.

**Fecha de aprobación:** Sesión Extra/Ordinaria N° 54 del Consejo Directivo de fecha 1° de noviembre del 2018.

**Códigos SIU-Guaraní:** M1X16.





## Introducción a la Investigación de Operaciones

### Fundamentación

La gestión de los recursos agropecuarios y forestales, como un caso particular del manejo de los recursos naturales renovables, permanentemente plantea el problema de tomar decisiones en ambientes caracterizados por su complejidad. Contemporáneamente, un problema típico de administración demanda el cumplimiento de objetivos múltiples y contradictorios, con una escala de preferencias que rara vez se explicita y mucho menos se cuantifica, con recursos que siempre son escasos y con desafíos adicionales derivados de las escalas temporales y espaciales propias de la actividad, además de las condiciones de incertidumbre que siempre imperan. Específicamente, la Investigación de Operaciones se propone representar este tipo de situaciones problemáticas, es decir las complejas, mediante modelos matemáticos que puedan ser implementados y resueltos en computadoras. En el caso particular de agrónomos y forestales, aquellos que desarrollen estas habilidades para la representación formal y sean capaces de dominar las herramientas informáticas apropiadas para resolver estos problemas, además de conocer el conjunto más relevante de modelos prototípicos de optimización, se convertirán en profesionales sólidamente capacitados para asistir a los responsables de tomar las decisiones en el ya caracterizado como complejo entorno de las actividades agropecuarias y forestales.

En tanto asignatura, Introducción a la Investigación de Operaciones se propone como un recorte de la vasta disciplina científica de la Investigación Operativa, también conocida como Ciencia de la Administración o de la Decisión. El recorte se fundamenta en la pretensión de introducir su adopción y difusión en los espacios profesionales de agrónomos y forestales en los cuales aún resulta una novedad, a pesar del gran potencial que tiene para convertirse en una herramienta central de todo sistema de apoyo a las decisiones que pueda concebirse. El recorte también implica un punto de vista particular para el estudio de la asignatura, atravesado en términos generales por el enfoque de sistemas y el método científico aplicados a la solución de problemas típicos del ámbito profesional. Y justamente el carácter aplicado es el que permea toda la propuesta didáctica, tanto en la selección de contenidos que se estudiarán como en las actividades que se pautarán para cultivar las destrezas buscadas. Esto se verificará en el énfasis que se pondrá en la modelización como proceso de conceptualización de los problemas antes que en los propios modelos; y también se verificará en la importancia que se le concederá a la interpretación de resultados que se obtienen fácilmente con una computadora antes que al estudio teórico de los sofisticados algoritmos que resuelven los problemas.

Así, la asignatura busca situarse en el bloque curricular de las Tecnologías Aplicadas (Agronómico Aplicado), con la pretensión de interesar a estudiantes avanzados, prácticamente profesionales. Por tratar sobre una disciplina considerada como una rama aplicada de las matemáticas y la estadística, su estudio requiere cierto dominio de algunos aspectos de dichas disciplinas. Sin embargo, el enfoque asumido tenderá a compensar o directamente neutralizar esta necesidad. Por su campo de aplicación puede enriquecer a todas aquellas disciplinas del ciclo aplicado en las que los problemas de decisión constituyen un objeto de estudio de cierta importancia. Y de ellas tomará las problemáticas de la realidad que la justificarán.

Concretamente, el abordaje de la asignatura se organizará en tres núcleos temáticos:

- Introducción a la Investigación operativa
- Programación Lineal
- Extensiones de la Programación Lineal





Dentro de dichos núcleos, los contenidos se irán abordando en unidades temáticas cuyo grado de dificultad será creciente y lo propio ocurrirá con las actividades de aprendizaje autónomo y cooperativo que se propongan. Inicialmente, la presentación enfatizará aspectos intuitivos para luego buscar formalizarlos matemáticamente. Hacia el final del curso, los planteos harán mayor hincapié en aquellos aspectos de los modelos que permitan realizar generalizaciones lo más amplias posibles. Muchos de los modelos se introducirán mediante el estudio de casos, los que serán seleccionados generalmente de otras disciplinas aplicadas de ambas carreras. El vehículo elegido para la representación de los modelos como problemas de decisión será, en la mayoría de los casos, una planilla de cálculo. El otro vehículo de representación será un lenguaje de modelado algebraico. Ambos medios se han seleccionado por su ubicuidad o sencilla disponibilidad y por enfatizar la generalidad del proceso de la disciplina, además de facilitar la solución de los problemas mediante computadoras sin detenerse en la forma empleada para pasar rápidamente a considerar las implicancias del uso y aplicación de los resultados.

### Objetivos

- Desarrollar la habilidad para identificar situaciones problemáticas que requieran decisiones para su solución.
- Desarrollar la destreza para formular y usar modelos matemáticos que representen problemas de decisión.
- Facilitar el dominio de las herramientas informáticas necesarias para resolver problemas de decisión representados matemáticamente mediante técnicas de optimización y comprender acabadamente sus informes de resultados.
- Introducir conceptualmente los principales prototipos de modelos que la Investigación de Operaciones ha desarrollado, enfatizando aquellos que pongan de relieve la esencia del proceso de la disciplina para resolver problemas reales y su potencial.

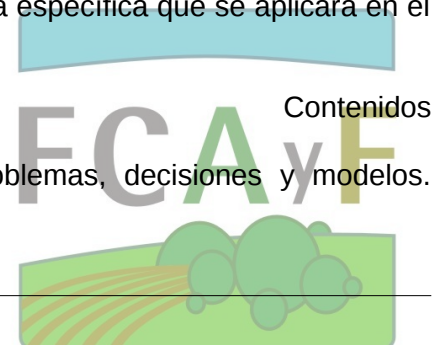
### Desarrollo programático

#### Unidad didáctica 1: Introducción

##### Alcance

En este núcleo temático se definirá la disciplina, delimitando y reflexionando críticamente sobre sus alcances y sus potenciales aplicaciones. También se conceptualizarán sus principales objetos de estudio y se introducirá el lenguaje y la terminología específica que se aplicará en el estudio del resto de los contenidos.

Contexto epistémico y enfoques. Conceptualización de problemas, decisiones y modelos. Aplicaciones.





---

## Unidad didáctica 2: Programación lineal

---

### Alcance

En esta unidad didáctica se introducirá el uso de modelos matemáticos como mecanismo de representación y solución para varios tipos de problemas de decisión. Por la importancia central que se le asigna en la asignatura, el problema de la programación lineal será abordado con detenimiento.

### Contenidos

El problema de la programación lineal. Variables de decisión, función objetivo, restricciones y soluciones. Formalización matemática. Axiomas. Solución gráfica, analítica y algorítmica.

El método simplex. Interpretación económica. Teoría de la dualidad. Análisis de sensibilidad. Formulación y resolución de problemas con planillas de cálculo. Formulación y resolución de problemas con el lenguaje de modelado algebraico MathProg y GLPK.

Problemas prototípicos de programación lineal (e.g. mezcla de productos, de la dieta, planificación de horarios, producción e inventario, cadena de abastecimiento, cartera de inversión, análisis de la envolvente de datos).

---

## Unidad didáctica 3: Extensiones de la programación lineal

---

### Alcance

En esta unidad didáctica se introducirán numerosos modelos matemáticos, principalmente lineales y deterministas. Algunos de los modelos tienen formulaciones que ayudan a superar limitaciones de la programación lineal. Otros modelos extienden la generalidad de la programación lineal para representar y resolver problemas. Todos los modelos que se presentarán pueden ser considerados prototípicos y el abordaje para su estudio se hará a partir de las similitudes y diferencias con el problema de la programación lineal.

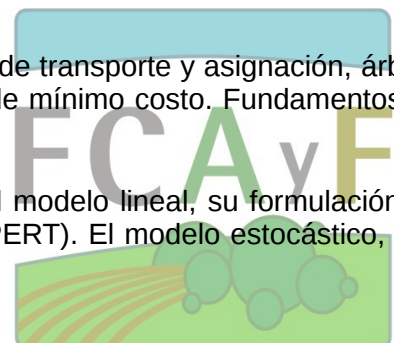
### Contenidos

Programación por metas. Fundamentos y aplicaciones. El modelo lineal, su formulación y solución. Objetivos unidireccionales. Preferencias y prioridades.

Programación entera y binaria. Fundamentos y aplicaciones. El modelo lineal, su formulación y solución. Modelos mixtos.

Modelos de redes. Caracterización de las redes. Los modelos de transporte y asignación, árbol de la mínima expansión, ruta más corta, flujo máximo y flujo de mínimo costo. Fundamentos y aplicaciones. El modelo lineal, su formulación y solución.

Gestión de proyectos. El método del camino crítico (CPM). El modelo lineal, su formulación y solución. La técnica de evaluación y revisión de programas (PERT). El modelo estocástico, su formulación y solución.





---

### **Bibliografía básica para todas las unidades didácticas**

Hillier FS & MS Hillier. 2008. Métodos cuantitativos para administración. 3° Edición. Mc Graw-Hill Interamericana. México DF, México. 602 pp. Disponible: biblioteca parcial del curso, 1 ejemplar.

### **Bibliografía alternativa para todas las unidades didácticas**

Hillier FS & MS Hillier. 2008. Introduction to management science: a modeling and case studies approach with spreadsheets. 3<sup>rd</sup> Edition. Mc Graw-Hill/Irwin. New York, USA. 602 pp. Disponible: biblioteca parcial del curso, 1 ejemplar.

Ragsdale CT. 2008. Spreadsheet modeling & decision analysis: a practical introduction to management science. 5<sup>th</sup> Edition. Thomson South-Western. Mason, USA. 820 pp. Disponible: Biblioteca Parcial del Curso, 1 ejemplar.

Winston WL & SC Albright. 2009. Practical management science. 3<sup>rd</sup> Edition. South-Western Cengage Learning. Mason, USA. 992 pp. Disponible: Biblioteca Parcial del Curso, 1 ejemplar.

### **Bibliografía básica para el lenguaje de modelado algebraico**

Makhorin A. 2013. Lenguaje de modelado GNU MathProg - Referencia del lenguaje para GLPK versión 4.50 (Borrador, mayo del 2013). Andrew Makhorin, Moscow Aviation Institute. Moscú, Rusia. 77 pp. Disponible: como archivo de computadora en el aula virtual y en la web.

### **Bibliografía alternativa para el lenguaje de modelado algebraico**

Fourer R, DM Gay & BW Kernighan. 2003. AMPL - A modeling language for mathematical programming. 2<sup>nd</sup> Edition. Duxbury-Thomson Learning. Boston, USA. 526 pp. Disponible: como archivo de computadora en el aula virtual y en la web.

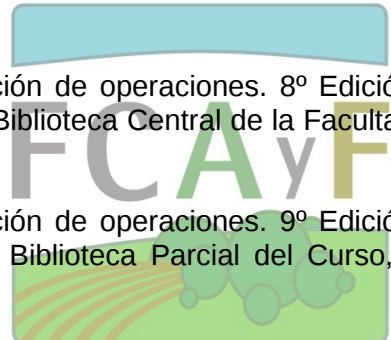
### **Bibliografía complementaria para todas las unidades didácticas**

Buongiorno J & JK Gilless. 2003. Decision methods for forest resource management. Academic Press. San Diego, USA. 439 pp. Disponible: Biblioteca Parcial del Curso, 1 ejemplar.

Dykstra DP. 1984. Mathematical programming for natural resource management. McGraw-Hill Book Company. New York, USA. 318 pp. Disponible: Biblioteca Parcial del Departamento, 1 ejemplar.

Hillier FS & GJ Lieberman. 2006. Introducción a la investigación de operaciones. 8° Edición. McGraw-Hill. México DF, México. 1061 pp. Disponible: Biblioteca Central de la Facultad, lectura en sala.

Hillier FS & GJ Lieberman. 2010. Introducción a la investigación de operaciones. 9° Edición. McGraw-Hill. México DF, México. 978 pp. Disponible: Biblioteca Parcial del Curso, 1 ejemplar.





Taha HA. 2012. Investigación de operaciones. 9° Edición. Pearson Educación de México SA de CV. Naucalpan de Juárez, México. 790 pp. Disponible: Biblioteca Parcial del Curso, 1 ejemplar.

Winston WL. 2005. Investigación de Operaciones – Aplicaciones y algoritmos. 4° Edición. International Thomson Editores SA de CV. México DF, México. 1418 pp. Disponible: Biblioteca Parcial del Curso, 1 ejemplar.

### Metodología de Enseñanza

El curso, concebido como un espacio de interacción entre docentes y estudiantes, constituye la instancia más relevante para el logro de los objetivos didácticos planteados. Por ello, todos los contenidos serán abordados en los encuentros presenciales que se pauten, los que serán en su totalidad del tipo teórico-práctico. Para el tratamiento de un tema cualquiera, normalmente se indicará una lectura previa para el estudiante y, en el correspondiente encuentro, mediante exposición, los docentes conducirán el repaso de los aspectos teóricos más relevantes de la temática, permitiendo siempre espacios para la discusión con los estudiantes. Posteriormente, se plantearán situaciones problemáticas para que los estudiantes analicen y representen mediante modelos matemáticos, fomentando en todo momento el aprendizaje activo, tanto autónomo como colaborativo. Para la solución de los problemas se hará un uso relativamente intenso de recursos informáticos, particularmente de planillas de cálculo y de un lenguaje de modelado algebraico. Una vez resueltos los problemas, el análisis de las soluciones trascenderá el mero resultado numérico para concentrarse en la implementación de las mismas, considerando especialmente su grado de robustez y contemplando sus potenciales impactos y consecuencias.

Durante el curso, se destinará mayor esfuerzo al desarrollo de las destrezas para la representación de situaciones problemáticas de decisión mediante modelos, en general matemáticos, que al estudio o revisión de modelos ya desarrollados. De todas formas, esto no implicará descuidar el estudio de los principales modelos prototípicos que la Investigación Operativa ha desarrollado, sobre todo aquellos que han sido ampliamente usados para resolver problemas reales o que presentan un interesante grado de generalidad en su enfoque. A la hora de resolver los problemas, no se estudiará la teoría de los algoritmos de solución sino que se aprenderá a resolverlos mediante computadoras, promoviendo las destrezas en el manejo de los programas específicos y el pleno entendimiento de las soluciones que estos informan. Con este espíritu, también se apelará con frecuencia a la ejemplificación, en particular de la aplicación de aspectos conceptuales a situaciones problemáticas que los estudiantes reconozcan fácilmente como reales. En muchas circunstancias, esta ejemplaridad será presentada a través de los denominados *estudios de caso*, los que serán seleccionados entre los innumerables publicados por su pertinencia profesional, realismo y aplicabilidad. Finalmente, las consignas para la producción grupal que se asignará oportunamente, y que será parte de la estrategia de evaluación de los estudiantes, seguirá la misma lógica formal que los estudios de caso que se presenten y analicen durante el curso.

La duración pautada para el curso es de 60 horas, las que se distribuyen a razón de 5 horas por semana durante 12 semanas. Las 5 horas semanales se pautarán en dos encuentros semanales de igual duración. El total de 24 encuentros incluye los primeros llamados de cada evaluación parcial; no así las recuperaciones de dichas instancias ni las recuperaciones para cumplir la exigencia de asistencia mínima, como tampoco la instancia del coloquio integrador.



### Carga horaria discriminada por actividad curricular

Tipo de actividad	Ámbito en que se desarrollan			Total
	Aula	Laboratorio, gabinete de computación u otros.	Campo	
	..... horas .....			
Desarrollo teórico de contenidos	20	---	---	20
Ejercitación práctica	---	30	---	30
Proyectos	---	---	---	---
Prácticas de intervención profesional	5	5	---	10
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>---</b>	<b>60</b>

**Ejercitación práctica:** comprende situaciones problemáticas, simuladas o reales, que se plantean para su solución. **Proyectos:** se refiere al diseño y/o ejecución de proyectos. **Prácticas de intervención profesional:** contempla el desarrollo de planes de acción orientados a la resolución de problemas vinculados al medio productivo.

### Materiales didácticos

La mayor parte de las instancias presenciales se desarrollarán en un gabinete de computación o ámbito de prestación equivalente, *i.e.* un conjunto de computadoras con acceso a internet en número suficiente para su uso individual o en pequeños grupos. Los programas de computación que se usarán se licencian bajo alguna de las formas del *software* libre o directamente son del dominio público. Una proporción menor de las instancias presenciales se realizarán en un aula convencional. Tanto en el gabinete como en el aula, el equipamiento adicional que se empleará será el convencional: pizarrón y proyector digital.

### Evaluaciones y sistema de promoción

Habiendo conceptualizado al curso como la instancia más importante del proceso de enseñanza-aprendizaje, se propone concebir a toda instancia de evaluación como una actividad más del proceso de aprendizaje. Sin embargo, las evaluaciones tienen características distintivas de otras actividades didácticas, principalmente por las tres funciones que en general se le asignan en un curso. La primera función, y más importante, es profundizar el proceso de aprendizaje e incentiva al estudiante a seguir aprehendiendo conceptos, sus relaciones y aplicaciones, aún en la instancia de la evaluación. La segunda función es constituirse en el medio para que el docente determine si la apropiación de los contenidos y adopción de destrezas han sido suficientes, es decir si se han cumplido los objetivos didácticos. La tercera función, definitivamente la menos importante, es la de valorar el desempeño del estudiante que ha promocionado el curso, típicamente mediante una escala cuantitativa. En consecuencia, se implementarán modalidades de evaluación que pongan el énfasis en las dos primeras funciones señaladas. Así, el curso de características únicas para todos los estudiantes que decidan tomarlo, se aprueba si se han alcanzado los objetivos didácticos al término del mismo y coherentemente se valoran con una escala única de calificación del desempeño del estudiante. Complementariamente, el espacio curricular reconoce y valora el aprendizaje



estrictamente autónomo o autodidacta, permitiendo que el estudiante realice un recorrido académico independiente, tutorado solamente a su propia voluntad, *i.e.* si decide usar las oportunidades de consulta con el cuerpo docente, restándole simplemente el requerimiento de demostrar el logro de los objetivos didácticos.

En consecuencia, la promoción de los estudiantes se hará de acuerdo con dos de las modalidades previstas en la reglamentación vigente, promoción como alumno regular sin examen final y promoción como alumno libre con examen final. Para promocionar como alumno regular sin examen final, el estudiante deberá asistir como mínimo al 80% de las clases. Si el estudiante no alcanzara la asistencia mínima pero hubiera asistido al menos al 60% de las clases, podrá acreditar el cumplimiento de los objetivos didácticos de las clases a las que no hubiera asistido mediante evaluaciones escritas, con modalidad presencial o domiciliaria según la clase perdida y hasta completar el 80% mínimo. Estas evaluaciones de recuperación se realizarán antes de las correspondientes evaluaciones parciales y las mismas se calificarán como aprobadas o desaprobadas. El estudiante que no desee optar por esta modalidad de recuperación de objetivos didácticos para alcanzar el 80% previsto en el régimen de promoción sin examen final, podrá incorporarse al régimen de alumno libre con examen final con las mismas características y exigencias que se detallarán más adelante. El curso prevé dos instancias de evaluación parcial con sus correspondientes recuperaciones, *i.e.* una para cada evaluación y una segunda oportunidad sólo para una de ellas (flotante). Las dos evaluaciones parciales se harán por escrito, pudiendo adoptar una modalidad desdoblada con una parte presencial y una parte domiciliaria u otra modalidad enteramente domiciliaria. Las mismas tendrán carácter integrador, abarcarán aspectos teóricos y prácticos y se calificarán con una escala de 1 (uno) a 10 (diez) puntos, requiriéndose una calificación mínima de 4 (cuatro) puntos para su aprobación. También se exigirá la aprobación de la primera evaluación parcial para rendir la segunda.

Al promediar el curso se hará una asignación de una situación problemática que debe ser resuelta en grupos pequeños. Esta producción grupal será presentada tanto de manera oral como escrita y será calificada con la misma escala y requerimientos que las evaluaciones parciales. En esta misma instancia, a los estudiantes también se le ofrecerán situaciones problemáticas cuya complejidad sea apropiada para desarrollar un Trabajo Final de Carrera en cualquiera de sus tres modalidades: investigación científico-tecnológica, revisión bibliográfica o intervención profesional. En este caso, el plantel docente acompañará a los estudiantes interesados en todas las etapas del proceso: elección de la problemática y del director, elaboración del proyecto de trabajo final, su desarrollo y la pertinente redacción del informe de trabajo final. Naturalmente, estas situaciones problemáticas deberán ser resueltas individualmente o en grupos de dos estudiantes, tal como lo exige la reglamentación correspondiente. La producción de estos estudiantes, si bien diferenciada, también deberá ser presentada durante el desarrollo del curso y será oportunamente calificada.

Cumplidas estas instancias, se pautará un coloquio final individual bajo la modalidad oral, también de carácter integrador, y que también será calificado con la misma escala y requerimientos ya descriptos. Para este coloquio se dispondrá de una oportunidad de recuperación. Para aquellos estudiantes que promocionen el curso, la nota final se asignará ponderando los resultados de las dos evaluaciones parciales, de la producción grupal y del coloquio final, con pesos de ponderación de 25, 25, 30 y 20%, respectivamente.

Para promocionar como alumno libre con examen final, el estudiante deberá aprobar las dos evaluaciones parciales y un coloquio final integrador, además de entregar una producción individual o grupal. Estas evaluaciones serán semejantes a las que forman parte del curso





presencial en lo relativo a contenidos alcanzados, modalidades (oral o escrita, presencial o domiciliaria), número de oportunidades y escala de calificaciones. Los estudiantes que adopten este régimen de promoción deberán comunicar al responsable del curso su intención de usar la modalidad y, de común acuerdo, se pautará un calendario para dichas evaluaciones.

### Cronograma de actividades

Semana	Unidad didáctica/Actividad	Número de encuentros
1	1. Introducción.	1
1, 2, 3, 4, 5 y 6	2. Programación lineal	11
<b>7</b>	<b>Primera evaluación parcial</b>	<b>1</b>
7	Asignación de los trabajos en grupos	1
<b>9, 10 u 11 (a convenir)</b>	<b>Primera evaluación parcial (recuperación y recuperación flotante)</b>	<b>1 o 2</b>
8, 9, 10 y 11	3. Extensiones de la programación lineal	8
<b>12</b>	<b>Segunda evaluación parcial</b>	<b>1</b>
12	Presentación de las producciones grupales	1
<b>14 o 15 (a convenir)</b>	<b>Segunda evaluación parcial (recuperación y recuperación flotante)</b>	<b>1 o 2</b>
<b>14, 15 o 16 (a convenir)</b>	<b>Coloquio final integrador</b>	<b>Uno por estudiante</b>

### Evaluación del curso

La evaluación del curso por parte de los estudiantes se hará usando los mismos instrumentos y la misma modalidad, en cuanto a población alcanzada y oportunidad en que se administran, que la unidad académica mantenga vigente en el marco del *Relevamiento de la Perspectiva Estudiantil Acerca de la Enseñanza en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales*. Los docentes dejarán asentada su evaluación en el *Formulario de Evaluación de Actividades Académicas*, el que se completará al término de cada edición del curso.

