

Agromática II: Aplicaciones informáticas por y para Ingenieros Agrónomos

Daniel Arnaldo Grenón

Cátedra de Agromática

Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional del Litoral

Esperanza, Santa Fe, Argentina

Resumen

Se discute la estrategia pedagógica y de desarrollo de software agronómico en la asignatura “Agromática II: Modelos matemáticos agronómicos” de la FCA (UNL). La propuesta a los alumnos consiste en diseñar y desarrollar una planilla electrónica que posibilite simular el comportamiento y las posibles respuestas (ante escenarios productivos, ecológicos, tecnológicos y/o económicos alternativos) de algún proceso agronómico de su interés.

Se presentan ejemplos de planillas desarrolladas por los alumnos de la asignatura.

Palabras Clave

Planillas electrónicas – Modelos agronómicos – Enseñanza Ingeniería Agronómica

Introducción

La Ingeniería Agronómica se expresa mediante dos vocablos:

- **Agromática** hace referencia a la especificidad de los objetos de atención profesional, lo que le es propio: los Agrosistemas,
- e **Ingeniería** hace referencia al modo de percibir y atender al diagnóstico, análisis, diseño, evaluación, pronóstico y control de los componentes, interrelaciones y procesos de dichos objetos de atención profesional.

Ingeniería Agronómica: Conjunto de preceptos y reglas necesarios para aplicar los conocimientos ciertos de los principios y causas de los procesos agropecuarios (derivados de las ciencias exactas, físicas, económicas y sociales) a la invención, perfeccionamiento o utilización de los procedimientos y recursos necesarios para la obtención, transformación, almacenamiento, transporte y/o comercialización de los productos naturales derivados del cultivo de la tierra en función de la satisfacción de las necesidades sociales (definición del autor).

Si consideramos que el Ingeniero Agrónomo es aquel capacitado, entrenado y habilitado para aplicar la Ingeniería Agronómica, podemos especificar entonces una serie de conocimientos y habilidades necesarios para la formación de este profesional, los cuales necesariamente están contemplados en el plan de estudios de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral:

- Conocimientos acerca de las “hipótesis y leyes de las disciplinas que integran la ciencia agropecuaria”: exactas, físicas (incluidas las biológicas) y socio-económicas, que describen y explican los procesos agropecuarios: formación básica, la cual se desarrolla en sus contenidos mínimos durante el cursado del Ciclo Básico, con la posibilidad de profundizar aquellos aspectos relacionados con la orientación individual del estudiante a través de asignaturas optativas, electivas y la ejecución del Trabajo Final de Graduación.
- Conocimientos y habilidades relacionados con los “procedimientos y recursos necesarios para la obtención, transformación o transporte de los productos agropecuarios”: formación superior aplicada y especializada, tanto en su fase de pregrado (materias comunes y optativas, nodos de integración y práctica profesional, y alternativamente en

la ejecución del Trabajo Final de Graduación) como en su continuación en cursos de actualización y carreras de especialización para el profesional.

- Conocimientos y habilidades imprescindibles para “emplear correctamente los preceptos y reglas para la invención, perfeccionamiento o utilización de la técnica industrial agropecuaria”: formación y entrenamiento en el empleo de las herramientas conceptuales y operativas que posibiliten el análisis, diagnóstico, diseño y evaluación de las alternativas de acción posibles de instrumentar ante cada situación agroproductiva específica. Esto implica la "formalización operativa" de los conceptos, hipótesis, leyes, atributos e interacciones entre los diferentes subsistemas involucrados en el proceso agroproductivo: matemática, estadística y computación.

Sobre la metodología para lograr la formación del Ingeniero Agrónomo

La tecnología informática se ha transformado en una herramienta esencial para la formación, capacitación y actividad profesional de los ingenieros agrónomos. Pero la disponibilidad de la tecnología sola no es una solución. Para que sea posible cosechar los beneficios que brindan los ordenadores primero se requiere un amplio entrenamiento de docentes, nuevos materiales curriculares, y lo más importante de todo, cambios en los modelos educativos. Los conceptos educativos modernos, derivados del trabajo de eruditos en la materia (como el psicólogo suizo Jean Piaget, el investigador del MIT Seymour Papert y el psicólogo ruso Lev. S. Vygotsky) enfatizan el aprendizaje individual con la práctica, el trabajo en equipo y el descubrimiento guiado de la información.

Se habla mucho, hoy día, de la importancia de una "visión de conjunto" y de un "esfuerzo de síntesis", actitudes que se juzgan necesarias para superar los grandes problemas del mundo contemporáneo. Por desgracia, no parece que la educación recibida nos haya preparado para ello. Sólo basta mirar la lista de asignaturas: recortan la naturaleza en terrenos vedados, cuidadosamente cercados.

¿Es necesario ceñirse exclusivamente al "método analítico", que aísla los elementos y las variables a fin de examinarlos uno por uno? Mientras los expertos aíslan, analizan y discuten, los cambios tecnológicos y de paradigmas imponen a la sociedad nuevas adaptaciones. El desfase entre la velocidad de percepción de los problemas y las demoras en la aplicación de las grandes decisiones hacen aún más evidentes las dificultades de nuestros métodos de análisis de la complejidad.

Otro enfoque, complementario al anterior, es necesario: el enfoque sistémico. Se apoya en una consideración global de los problemas o de los objetos en estudio y se concentra en el juego de las interacciones entre sus elementos.

Sobre los objetos de atención profesional: los agrosistemas

La visión sistémica propone integrar a los diversos componentes de los agrosistemas (abióticos, bióticos, tecnológicos, económicos y sociológicos) en un todo para comprenderlos y controlarlos reconociendo distintos niveles de organización en el ámbito agropecuario. El primer nivel agrosistémico lo ocupa la "Fitosfera" o ecosistema específico de las plantas cultivadas. En niveles de organización superiores aparecen la Zoosfera (ambiente de desempeño de los productores secundarios), el Agroecosistema (conjunto de fitosferas y zoosferas que se administran como una unidad de manejo: secuencia de cultivos, rotación), el Agrosistema (empresa agropecuaria), la Cadena Agroalimentaria y la Región.

Tabla 1: Resumen de las características y ciencias que se ocupan de los Agrosistemas

| Nivel de Organización | Componentes principales | Proceso Principal | Objetivo principal | Ciencias principales |
|-----------------------------------|--|---|--|---|
| Fitosfera | Suelo Atmo-Edafoclima Cultivo | Producción primaria: crecimiento y desarrollo de cultivos | Biomasa vegetal útil | Biología |
| Zoosfera | Fitosferas Plantel animal | Producc. secundaria: crecimiento y desarrollo animal | Biomasa animal útil | Biología |
| Agroecosistema | Fitosferas, Zoosferas Ambiente edafo- climático | Degradación y recuperación de procesos ambientales | Sustentabilidad de la capacidad productiva | Física Química Biología |
| Agrosistema (Empresa) | Agroecosistemas y subsistemas técnico, administr. y social | Comercialización, administración de organizaciones | Rentabilidad Utilidades | Microeconomía Administración Psicología Sociología |
| Cadena Agroalimentaria | Agrosistemas. Industrias procesadoras Proveedores de insumos y servicios | Transporte, almacenamiento, industrialización y comercialización de insumos y productos | Seguridad alimentaria Obtención y mantenimiento de mercados de insumos y productos | Economía Comercialización Logística Politicología |
| Región | Agrosistemas y otras organizac. sociales | Interrelaciones sociales, ordenamiento territorial | Mayor calidad de vida para sus habitantes | Macroeconomía Sociología Politicología |

Sobre el desempeño profesional

Resulta claro entonces que al Ingeniero Agrónomo le interesa adquirir los conocimientos y habilidades aportados por las ciencias exactas, físicas y sociales, no como un fin en sí mismos, sino en la medida que ellos le permitan:

- a) Identificar la presencia de problemas productivos, económicos y/o sociales.
- b) Jerarquizar los factores que condicionan, limitan y/o restringen la producción de los cultivos, su rentabilidad o su calidad como medio de expresión cultural para lograr una mejor calidad de vida de los grupos sociales involucrados.
- c) Superar las limitaciones y restricciones a través del uso y generación de técnicas para tal fin adecuadas a las condiciones económicas y sociales del ámbito en el que se propone aplicarlas.
- d) Controlar la evolución de los estados y propiedades de los subsistemas de tal modo que se prevenga la degradación de los agrosistemas, y que sea posible habilitarlos para mejores usos o para satisfacer en mayor medida y equitativamente los objetivos de todos los niveles de organización agrosistémica.

Los ítemes (a) y (b) constituyen lo que se denomina "diagnóstico", y es tema propio de las asignaturas del ciclo básico. En cambio (c) y (d) contienen fundamentalmente aspectos tecnológicos, económicos y sociológicos, es decir, aquellos que técnicamente permiten superar o prevenir la aparición de problemas o revertirlos. Esto es campo de aprendizaje específico de las asignaturas del ciclo superior.

Simultáneamente, todos los ítemes antes detallados demandan al profesional agrónomo la necesidad de formalizar tanto los conceptos que se tienen sobre los agrosistemas, como los procedimientos y metodologías para cuantificarlos y operar con

ellos a fin de evaluar la situación actual y decidir sobre la alternativa de conducción o manejo más conveniente.

Sobre la hipótesis en que se basa la propuesta

La hipótesis básica es que en todo fenómeno observable de cualquier agrosistema es factible desarrollar un método que permita elaborar su imagen o modelo que lo describa y explique y, a partir de ésta, luego de cuantificar la situación actual y los escenarios futuros probables, elaborar:

- (a) la imagen-meta o diseño de la empresa que satisfaga en mejor medida los objetivos,
- (b) el programa de las actividades, en términos de oportunidad e intensidad, necesarias para concretar el diseño, y
- (c) la cuantificación de los riesgos implícitos en la programación.

Los problemas agronómicos son de naturaleza tan compleja que es menester adoptar una perspectiva tal que permita manejarlos de manera que sea factible llegar a una solución. Los problemas que presentan este nivel de complejidad se denominan hiperproblemas y se los puede definir como situaciones complejas y difusas que tienen soluciones posibles, pero que no pueden ser resueltas en forma directa, es decir en su estructura primitiva [1].

Es factible representar el problema de la empresa agropecuaria (o de cualquier otro nivel agrosistémico) como un hiperproblema, el cual se puede transformar a través de un proceso de análisis en un conjunto finito de problemas más específicos que, por lo tanto, se transforman en discretos [1].

Los ligamientos entre cada uno de los elementos que conforman un problema específico deben ser más fuertes entre sí que los ligamientos entre distintos problemas específicos. Esto conduce a agrupar problemas por subsistemas según los tipos de relaciones entre los componentes involucrados: ecológicos, tecnológicos, económicos y sociales, y así descomponer el hiperproblema en los diversos problemas que contiene, posibilitando su tratamiento disciplinar. La solución independiente de cada uno de estos problemas específicos conduce a un conjunto de soluciones merológicas que no representa necesariamente la solución del hiperproblema [1].

La solución holística del problema predial requiere transformar, en una siguiente etapa, mediante un proceso de síntesis, los problemas específicos en un sistema de problemas interrelacionados, lo cual constituye la solución holológica del problema. Esto obliga a un tratamiento interdisciplinario del hiperproblema. El sistema de problemas específicos comprende a la totalidad de la imagen o modelo del predio. Es fundamental que dicha imagen exprese lo mejor posible la complejidad y dinámica del sistema real, y, simultáneamente, permita lograr el máximo de controlabilidad del fenómeno predial en su globalidad.

Las herramientas y/o metodologías que se pretenden aplicar deberán reflejar esta problemática y representar todos los aspectos relevantes de los componentes de los agrosistemas y de sus relaciones. Todo esto con la finalidad de organizar, almacenar y aportar los datos e informaciones necesarias para que el productor y/o el profesional asesor puedan operar con las metodologías disciplinares que formalizan operativamente el diseño de agrosistemas superadores de la problemática empresarial desde el punto de vista de las disciplinas biológicas, ecológicas, tecnológicas y económicas.

Sobre los modelos agronómicos

Estas herramientas son básicamente los modelos matemáticos que describen y simulan la estructura y funcionamiento de los agrosistemas.

La característica esencial del enfoque sistémico es el desarrollo de teorías expresadas en el lenguaje matemático. El propósito de las teorías biofísicas es explicar cuantitativamente los mecanismos que determinan el hábitat agrícola, especialmente el microambiente, y los procesos biológicos de los cultivos que dichos mecanismos estimulan, inhiben o con los cuales interactúan. Los mecanismos se refieren principalmente a los fenómenos de transporte y transformación de energía, momento y materia entre la vegetación, el suelo y la atmósfera. Y lo mismo puede afirmarse para los niveles agrosistémicos más complejos que la fitosfera, sólo que, además, deberán incorporarse teorías y simularse mecanismos y procesos tecnológicos, económicos y sociales.

El método físico matemático hipotético-deductivo utilizado conduce a la formulación de **modelos**. Un modelo matemático consiste, en esencia, en una ecuación o conjunto de ecuaciones que representan la estructura y el funcionamiento de un sistema. Estas ecuaciones expresan las hipótesis o supuestos, o en otros términos, el conocimiento e interpretación que se tiene del sistema real. Cuando el sistema cambia con el transcurrir del tiempo, como es el caso de la fitosfera, se hace referencia a modelos de simulación dinámicos.

| |
|--|
| Un modelo es una descripción abstracta del mundo real, es una representación simple y manejable de más complejas formas, procesos y funciones de fenómenos físicos, biológicos o de ideas [2] |
|--|

El propósito general de los modelos es facilitar la comprensión e incrementar la predicción [2], aspectos fundamentales en las funciones profesionales de los ingenieros. Así se tiene que la ciencia en la investigación básica desarrolla y usa modelos para comprender cómo son las cosas en el mundo real, de manera de poder predecir cómo serán (análisis), mientras que la ingeniería, con su investigación aplicada, tiene que ver con cómo deben ser las cosas y genera modelos de sistemas modificados y conducidos para alcanzar los objetivos estipulados (diseño). En el manejo de los agrosistemas se utilizan estas dos etapas en forma tan integrada que puede decirse que en realidad se hace **diseño por análisis** [2]: solamente a partir del exhaustivo conocimiento del agrosistema preexistente se pueden planificar y ejecutar las modificaciones necesarias para desarrollar la nueva propuesta, considerando las características de **aleatoriedad** (derivada del comportamiento de los macrosistemas ecológico y económico), de **complejidad** por los numerosos subsistemas altamente interrelacionados y respetando las de **dependencia** de los ciclos biológicos (determinados, dinámicos e irreversibles), lo cual restringe las posibilidades de diseño de nuevos agrosistemas a la adecuación de las alternativas tecnológicas a los límites de las propiedades del substrato ecobiológico y a las imposiciones de los macrosistemas.

Si se necesita un modelo cuantitativo de un sistema (*y en ingeniería agronómica siempre se los necesita*) se lo puede construir de diversas maneras. Una de ellas es escribir un sistema de ecuaciones diferenciales (o en diferencias finitas), a razón de una por propiedad básica. Un método más poderoso es comenzar postulando un único principio variacional que involucre las mismas variables e implique las ecuaciones diferenciales correspondientes. Un tercer método es aún más general que los precedentes, aunque se combina naturalmente con ellos: es el enfoque del espacio de los estados [3].

Lo esencial del enfoque del espacio de los estados (o fases) consiste en empezar por identificar el sistema de interés y sus propiedades características. Luego se representa cada

una de éstas por una función matemática (variable de estado). El próximo paso es estudiar los cambios de la función de estado en el espacio y en el tiempo. Las variables de estado representan cantidades de una propiedad (materia, energía, información). Las variables ambientales caracterizan las interacciones de borde del sistema. Cada variable de estado está asociada con parámetros y otras variables de estado o ambientales a través de ecuaciones que caracterizan su tasa de cambio en ciertos instantes como resultado de procesos específicos. Estas ecuaciones expresan los flujos de la propiedad considerada y sus valores dependen de las variables de estado y ambientales, de acuerdo a reglas basadas en el conocimiento disciplinar del proceso estudiado y no en un análisis estadístico del comportamiento del sistema en estudio (generalmente de correlación entre las entradas y salidas del sistema: modelos de caja negra). Esta es la diferencia más importante entre modelos que sólo describen (empíricos, importantes en el enfoque técnico de la solución de un problema) y modelos que intentan explicar (hipotético-deductivos, imprescindibles en el tratamiento ingenieril de una situación problemática), es decir, que constituyen una demostración de que ciertas cosas siguen necesariamente de otras [2].

El método del espacio de los estados, al igual que el modelo CES, puede utilizarse por doquier, desde la física hasta las humanidades. Esto no significa que podrá ahorrarnos una investigación detallada del sistema en interés. En general, el enfoque sistémico no reemplaza a la investigación: sólo es una herramienta heurística que facilita el planteo de problemas y la construcción de modelos para resolverlos. En otras palabras, no es una teoría prefabricada que sirve para todo, sino un andamiaje útil para plantear problemas y diseñar proyectos de investigación concernientes a sistemas de cualquier tipo [3].

Un modelo pretende asemejarse al sistema real e imitarlo en su comportamiento, pero es más sencillo y cómodo que aquel. Las ecuaciones pueden resolverse para obtener valores de predicción, de este modo los supuestos e hipótesis empleados en la construcción del modelo pueden contrastarse con mediciones experimentales en el sistema real, y así ser refutados o confirmados. El fracaso de un modelo en cuanto a predecir el comportamiento del sistema real es útil en sí mismo, porque señala las fallas del marco conceptual a partir del cual se elaboró.

Sobre la utilidad de los modelos

Si bien los modelos de simulación de la fitosfera son abstracciones imperfectas del sistema real, representan para la agronomía, y en particular para el ingeniero agrónomo, instrumentos útiles porque las respuestas y predicciones técnicas (aún provisionales) acerca de importantes problemas de productividad y conservación, y las líneas de acción que se deduzcan de ellas, pesan más a la larga que el tratamiento preciso de detalles de menor relevancia.

Desde el punto de vista de la formación de los Ingenieros Agrónomos los modelos presentan las siguientes utilidades [4]:

- **Conceptual:** se refiere a los beneficios derivados de la concepción de los agrosistemas en términos de algún tipo de modelo. Esta utilidad surge del hecho de que el modelo provee un marco de referencia en cual basar el pensamiento (los mapas conceptuales o esquemas de la psicología cognoscitiva): identificación de los principales componentes y procesos del sistema y de sus relaciones, es decir, la teoría con la cual contrastar la realidad a fin de realizar el diagnóstico. Se destacan inmediatamente las aplicaciones docentes con el objetivo de incrementar el nivel de comprensión de los agrosistemas.

- **De desarrollo:** es la que se obtiene al desarrollar el modelo de simulación. Es necesario un pensamiento preciso. Al tratar de lograr que varios conceptos operen simultáneamente dentro de la teoría de los agrosistemas, se está forzando a los alumnos a estudiar interrelaciones y se pueden descubrir inconsistencias que estaban incluidas en la fase conceptual. Son importantes estos procedimientos rigurosos de análisis, tanto para la docencia como para la investigación, ya que exigen un gran esfuerzo cuantificador. Además, se hace un mayor empleo del método deductivo, en contraste con el tradicional inductivo, y se obliga a una mayor claridad en las hipótesis y en el diseño de los experimentos en procura de una definición precisa de los fenómenos y de sus factores condicionantes. Para la formación profesional, el aporte en este sentido se resume en la capacitación y entrenamiento del alumno en el reconocimiento de los factores, variables y procesos pertinentes y relevantes del problema agronómico.
- **De la salida:** se refiere a los beneficios que se pueden obtener de la impresión de los resultados, producto final de la actividad de modelación y simulación. En lo que se refiere a la capacitación y entrenamiento en el empleo de los modelos, la simulación de casos por ordenador crea en el usuario una actitud de "experiencia práctica", debido a la multiplicidad de situaciones que puede confrontar en poco tiempo y a la variedad de alternativas (ecológicas, técnicas y económicas) que pueden evaluarse. La interacción entre usuario y modelo desarrolla la intuición de las interdependencias y permite prever mejor las reacciones del agrosistema. Estas prácticas ante el ordenador agudizan el sentido crítico y el juicio con los que el alumno enfrentará la realidad, profundizando su percepción acerca de las probables causas y de las posibles soluciones de los problemas prácticos que encontrará en su futura actividad profesional.

Estos modelos pueden enfocar a la fitosfera desde un punto de vista global (modelos de crecimiento y desarrollo de cultivos) o centrarse en aspectos parciales como ser modelos de los factores restrictivos (p.e., dinámica de poblaciones de patógenos, insectos o malezas, y su incidencia sobre la producción de los cultivos) o de otros factores condicionantes o modificadores de los cultivos (p.e., modelos del crecimiento y desarrollo de los animales domésticos que los utilizan como substrato alimenticio). De la interacción de los modelos del crecimiento y desarrollo de animales domésticos y de los correspondientes a las pasturas surgen los modelos de producción animal. En el nivel jerárquico superior a la fitosfera, el agroecosistema, la integración de los modelos de producción vegetal y animal, simulando las secuencias de cultivos o las rotaciones agrícola-ganaderas (cuantificando los rendimientos probables, la exportación de nutrimentos y la aplicación de agroquímicos), aporta los elementos necesarios para la evaluación de las técnicas de manejo más apropiadas para la obtención de los máximos rendimientos compatibles con el objetivo de sostenibilidad del agroecosistema.

La integración de los modelos de producción vegetal y animal con otros aspectos como ser parque de maquinarias, mano de obra, infraestructura, factores financieros y de comercialización, brinda los datos necesarios para el análisis, seguimiento y proyección de los aspectos administrativos y gerenciales del agrosistema en estudio, a fines de planificar y evaluar las modificaciones pertinentes en cualquiera de los subsistemas analizados para lograr los objetivos del empresario. Por último, la disponibilidad de datos censales o de encuestas permite caracterizar los diferentes tipos de empresas agropecuarias, y su proporción, que podemos hallar en una región. Estos datos constituyen la base para la aplicación de modelos dirigidos a apoyar la planificación regional (evaluación económica

de la incorporación de nuevas técnicas, estudio de cuencas hídricas, análisis del impacto del empleo de pesticidas sobre la contaminación del ambiente regional, etc.).

Paralelamente a lo anterior, toda actividad agropecuaria tiene su base en un ecosistema original fuertemente condicionado por su ubicación geográfica (topografía, suelos, clima, vegetación y fauna original, distancia a centros de comercialización, etc.) que determinan el tipo e intensidad de producción factible de realizar. Es importante, en consecuencia, que todo análisis para el control y la toma de decisiones acerca de las actividades de un predio o de una región agropecuaria permita incluir y representar sus referencias geográficas y sus relaciones espaciales con otros factores productivos. Por lo tanto, la representación espacial y el empleo de los Sistemas de Información Geográfica de la biogeoestructura, tecnoestructura, hidroestructura y de los espacios de un establecimiento o de una región es fundamental para el desenvolvimiento de las actividades profesionales de los Ingenieros Agrónomos.

Elementos del Trabajo y Metodología

Los objetos agronómicos son complejos, multidisciplinarios, dinámicos. Como consecuencia de estas características, los profesionales deben ser capaces de:

- a) identificar los componentes, interrelaciones y procesos mediante observaciones y mediciones;
- b) operar con estos datos para realizar diagnósticos, analizar y diseñar alternativas de solución, pronosticar probables resultados y evaluar acciones;
- c) planificar y programar e incorporar la incertidumbre de los posibles escenarios ecológicos, técnicos y socio-económicos (imprevisibilidad por su complejidad-dinamismo);
- d) tomar decisiones que minimicen riesgos y/o maximicen resultados;
- e) automatizar procedimientos (por la cantidad de cálculos, los métodos numéricos, cantidad de alternativas a evaluar) dada la necesidad de respuestas en tiempo real.

La **Agromática** [5] aparece como una de las herramientas de la metodología demandada en el párrafo anterior:

La Agromática es la aplicación de los principios y técnicas de la informática y la computación a las teorías y leyes del funcionamiento y manejo de los agrosistemas.

La Agromática es un modo de trabajo que, empleando los métodos e instrumentos que ofrece la tecnología informática, permite reunir y organizar los conocimientos de la multitud de aspectos (físico-químicos, biológicos, técnicos, económicos y sociales) que constituyen a los agrosistemas en un solo cuerpo operativo con vistas a una mayor eficacia de la actividad profesional de los ingenieros agrónomos.

Esto es posible porque la Agromática ha nacido de la síntesis de varias disciplinas (figura 1): del enfoque de sistemas con su integración conceptual, de la matemática con su unificación de conceptos mediante un código uniforme y operable, y de la computación y la informática que posibilitan la realización de gran cantidad de operaciones lógico-matemáticas sobre grandes volúmenes de información (fácilmente organizados, almacenados, recuperados y transmitidos) en muy poco tiempo.

Se propone, entonces, la planificación de actividades basadas en la aplicación de modelos matemáticos y sistemas de información con un enfoque integrador y complementario del resto de las asignaturas de la Carrera de Ingeniero Agrónomo.

involucrados, se entiende que es necesario que **Agromática** abarque temas dictados en todos los años de cursado de la carrera de Ingeniería Agronómica.

Es necesario también que Agromática coordine, programe y efectivice las actividades de la cátedra conjuntamente con las asignaturas que tengan alguna relación con los temas planificados. Sólo aquellos temas o aspectos muy específicos de Agromática, como ser los directamente relacionados con el empleo de ordenadores, programación o aplicación de utilitarios, se programan e instrumentan en forma individual por esta cátedra. Así se obtienen tres grandes beneficios:

➤ El alumno accede a la tecnología informática y a las aplicaciones agromáticas en forma gradual y continua, mediante prácticas simultáneas al acceso a los conocimientos que le imparte el resto de las asignaturas.

➤ Las prácticas no sólo acompañan y refuerzan los conocimientos que se incorporan en ese momento, sino que los van estructurando en un esquema conceptual integrador con las asignaturas correlativas anteriores y posteriores. De este modo, programas que en materias anteriores fueron el eje de la práctica, ahora se transforman en subrutinas que procesan aspectos parciales del nuevo sistema en estudio.

➤ Se rompe la tradicional estructura de asignatura, la cual es estrictamente disciplinaria. Si se pretende realizar una actividad interdisciplinaria integradora no se puede conservar un esquema didáctico analítico y disciplinario.

La propuesta pedagógica contempla la aplicación continua de modelos de simulación de complejidad creciente a lo largo de la carrera, analizando desde los componentes aislados hasta los agrosistemas completos en sus diversos niveles jerárquicos (figura 2) en instancias integradoras de conceptos y metodologías propias de las disciplinas base constituyentes de la Agronomía.

El objetivo es que el alumno incorpore y asimile la Agromática en un proceso de descubrimiento continuo de las posibilidades de aplicación que tiene esta herramienta. Ésta, a medida que el alumno incrementa su bagaje de teorías acerca del funcionamiento y conducción de los agrosistemas, se transformará (además) en una práctica cotidiana útil para el ejercicio de su profesión.

Sobre la asignatura optativa Agromática II

Como complemento de esta integración “difusa” de la Agromática a lo largo del dictado de las asignaturas específicas de la Ingeniería Agronómica, se propone la posibilidad de que aquellos alumnos interesados en profundizar sus capacidades y habilidades en el desarrollo y manejo de modelos agronómicos puedan hacerlo en espacios específicos y optativos. Uno de ellos es “*Agromática II: Modelos matemáticos agronómicos*”.

Son sus objetivos:

Objetivos direccionales:

- Contribuir al perfeccionamiento de los Ingenieros Agrónomos y al mejoramiento de la calidad y de la eficacia de sus funciones profesionales en su ámbito socio-económico específico.
- Aportar teorías y conocimientos sobre los procesos y metodologías de análisis, diseño y aplicación de modelos de simulación como apoyo del ejercicio profesional de la Ingeniería Agronómica.
- Actualizar y complementar la formación profesional de los participantes del curso mediante una formación académica especializada en el análisis y aplicación de

modelos de simulación de los procesos bio-técnico-económicos de las empresas agropecuarias.

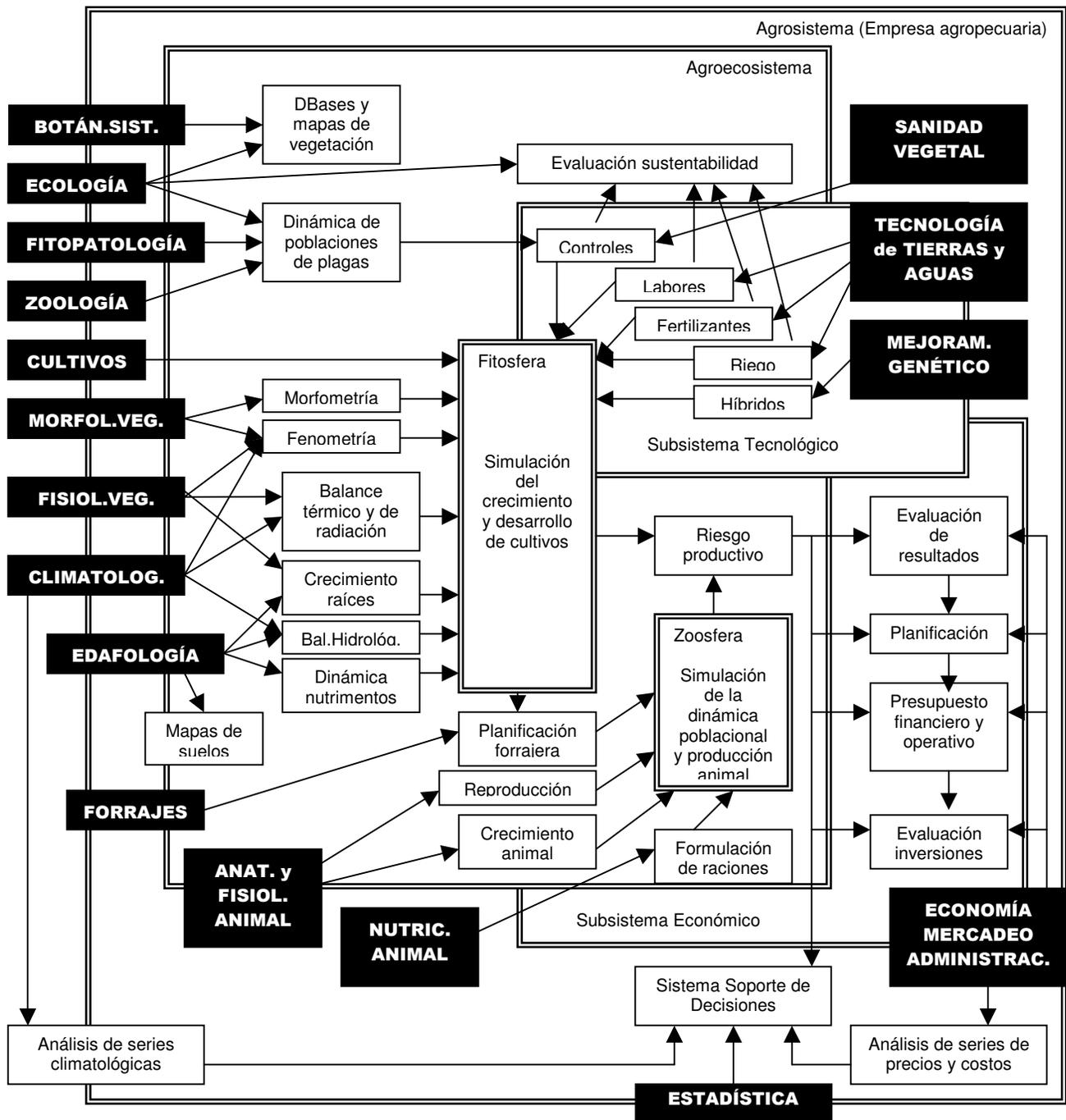


Figura 2: Esquema simplificado de las aplicaciones agromáticas en Ingeniería Agronómica al nivel de Empresa (Referencias: **ASIGNATURAS**, Aplicaciones, Agrosistemas)

Objetivos específicos:

Que los alumnos:

- Asuman la necesidad de adoptar los conceptos e instrumentos de la tecnología informática en forma permanente en su ejercicio profesional.

- Sean capaces de utilizar modelos matemáticos (y) de simulación que les permitan analizar, controlar y evaluar los procesos agroproductivos..
- Puedan seleccionar y aplicar los conceptos y modelos de simulación más adecuados a las características de su función profesional y del ámbito socio-económico y productivo en el que se desempeñarán.
- Seleccionen y usen herramientas informáticas específicas (modelos matemáticos agronómicos) para apoyo de su función profesional.
- Extiendan al medio agroproductivo los beneficios de la Agromática.

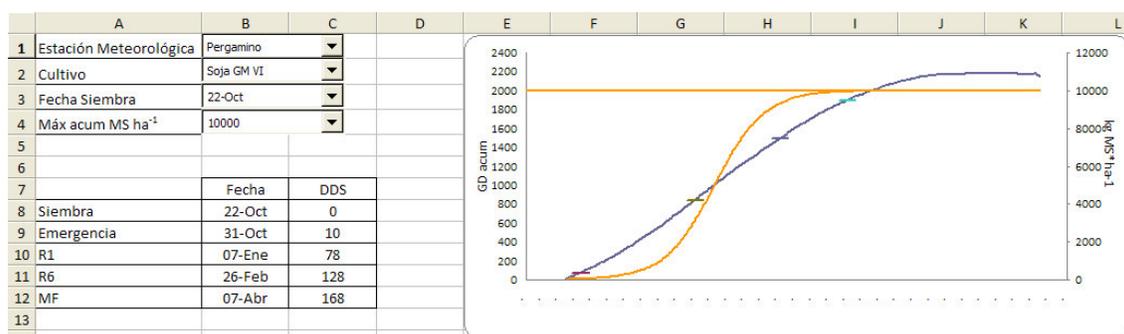
La asignatura está dirigida a alumnos de 4° y 5° año de la carrera que, en la mayoría de los casos, están realizando la práctica profesional, su tesina de grado o ya se iniciaron en el desempeño de la profesión.

Como asignatura optativa, profundiza en los temas que seleccionen los alumnos y los integra en el desarrollo de herramientas informáticas de utilidad para casos concretos de asesoramiento agronómico.

Desde hace dos años se propone sólo el desarrollo de aplicaciones en planillas electrónicas. La selección de este tipo de soporte se justifica en que el diseño y codificación de las aplicaciones exige mínimos conocimientos de programación a los estudiantes de Ingeniería Agronómica: estos no tienen que aprender a usar ningún lenguaje de alto nivel, y se trata de minimizar el empleo de macros. Se considera que de ser necesario un conocimiento más avanzado de programación y/o manejo de herramientas informáticas, éste no corresponde a un nivel de grado en Ingeniería Agronómica sino que se debería desarrollar en un curso de cuarto nivel o integrar a profesionales especializados en computación o informática.

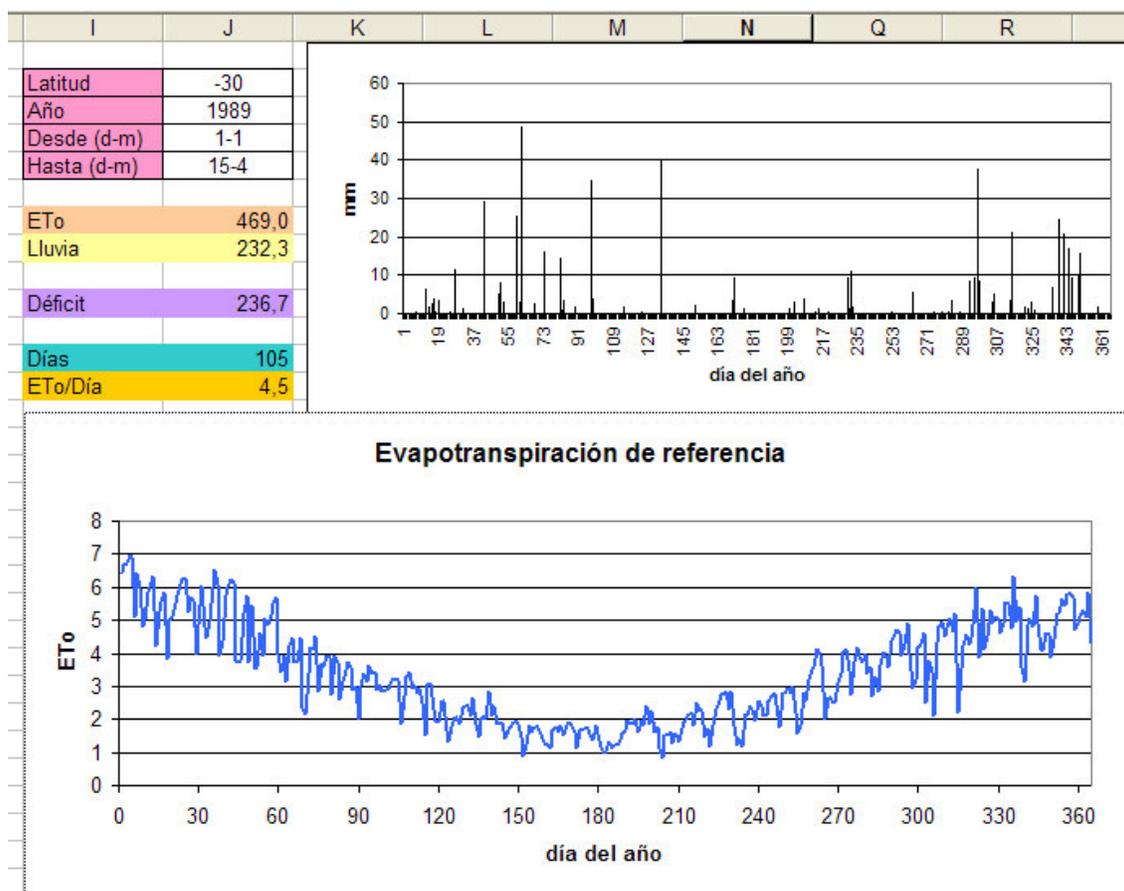
Desde el punto de vista de uso profesional, las aplicaciones deben ser “livianas” y demandar sólo datos de fácil acceso, que se los pueda conseguir de manera sencilla o a bajo costo, en las circunstancias comunes de actuación en el ámbito productivo: en este sentido se suelen simplificar los modelos usados académicamente (en el dictado teórico de los temas o en la investigación) a fin de minimizar la demanda de datos caros o difíciles de obtener.

Como ejemplos de planillas desarrolladas o en desarrollo se pueden citar:



Ejemplo 1: Fenología de cultivos

La planilla posee una base de datos de nueve estaciones agrometeorológicas y los parámetros de sumas térmicas y temperaturas base para diez cultivos. Estima fechas probables de los estadios fenológicos y curva de crecimiento en función de la fecha de siembra.



Ejemplo 2: Estimación de la ETO a partir de otros datos meteorológicos

La planilla posee veinte años de datos meteorológicos diarios (temperaturas y lluvias). Calcula la radiación a tope de atmósfera para cada día del año en función de la latitud y estima demanda y oferta atmosférica de agua entre dos fechas para el año elegido. La ETO se calcula a partir de los datos de temperaturas máxima y mínima y radiación solar.

Ejemplo 3: Un tercer alumno integró los dos ejemplos anteriores, pero con promedios mensuales en vez de datos meteorológicos diarios. Mediante un generador de datos diarios a partir de los estadísticos mensuales (promedios, desvíos) estima las probabilidades de láminas de riego a aplicar en cada fase fenológica de los cultivos. La planilla la usa en su actividad profesional como asesor de una empresa del norte de San Luis.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|---|--------------|--------|----------------------|-----------------|-------------|----------------|-------------------|---|------------------|------------------|---------------|---------------|------------|
| 1 | Datos | | Días ingr cat | F cambio | Días | Kg cons | Costo alim | | Categoría | Peso máx. | Ración | Kg/día | ENg |
| 2 | Fecha cpra | 02-May | 1 | 2-May | 49 | 122,50 | 53,47 | 1 | Ternerito | 60 | 1 | 2,5 | 2,85125 |
| 3 | Peso Cprra | 60 | 50 | 20-Jun | 113 | 452,00 | 197,30 | 2 | Ternero | 120 | 1 | 4 | 4,562 |
| 4 | Peso Vtra | 480 | 163 | 11-Oct | 82 | 410,00 | 178,97 | 3 | Novillito | 250 | 1 | 5 | 5,7025 |
| 5 | | | 245 | 1-Ene | 48 | 240,00 | 104,76 | 4 | Novillo liv. | 350 | 1 | 5 | 5,7025 |
| 6 | Días eng | 353 | 293 | 18-Feb | 37 | 259,00 | 89,10 | 5 | Novillo med. | 400 | 3 | 7 | 8,169 |
| 7 | Fecha Vtra | 20-Abr | 330 | 27-Mar | 23 | 161,00 | 55,38 | 6 | Novillo Pes | 450 | 3 | 7 | 8,169 |
| 8 | PromEng | 1,190 | | | | 1644,50 | 678,97 | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | |

Ejemplo 4: Engorde de novillos. La planilla posee una base de datos de alimentos para formular hasta tres tipos de raciones diferentes. Permite definir hasta sies categorías con la estrategia de alimentación de cada una. A partir de estos datos estima fechas y costos para calcular el margen bruto esperado.



Ejemplo 5: Dosis de fertilizantes. Estimación de necesidades de fertilizantes según cultivo, suelo, ambiente y manejo.

Ejemplo 6: Análisis de series temporales: Varias planillas que poseen series temporales de datos diarios de cotización de granos o de diversas categorías ganaderas. Se calculan tendencias y estacionalidad, se pueden comparar diversas estimaciones para una misma serie o comparar series de dos productos diferentes. Se está trabajando para incorporar las estimaciones de ciclos y del factor aleatorio.

Discusión

Dado que los temas a desarrollar son elegidos por los mismos alumnos, ya que tienen un interés particular como consecuencia de una necesidad de procesar esos datos para su práctica profesional o porque ya se encuentran trabajando en el tema, la motivación para el desarrollo del curso es muy fuerte. A eso se le agrega el hecho de que la asignatura se aprueba cuando la aplicación funciona a un nivel que genere alguna utilidad para un profesional en ejercicio, por lo cual, cuando promociona, el alumno se encuentra con un producto útil y de aplicación directa en el ejercicio profesional.

Siempre se destacan las limitaciones actuales y posibilidades de desarrollo futuro del producto obtenido, insistiéndose en el hecho de que de ser necesarios mayores conocimientos de programación, los ingenieros agrónomos deberán contar con la asistencia de profesionales en el manejo de las herramientas informáticas. Antes que capacitar a un ingeniero agrónomo en el desarrollo de una aplicación informática, se pretende lograr un usuario inteligente de la tecnología computacional que sepa comunicarse con los especialistas para demandar las herramientas adecuadas.

Referencias

- [1] Gastó, J., R. Armijo y R. Nava, 1984. *Bases heurísticas del diseño predial*. Sistemas en Agricultura. IISA 84-07. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 41 pp.
- [2] Duek, J.J., 1979. *La teoría de sistemas generales y su aplicación para resolver problemas ambientales*. CIDIAT. Mérida (Venezuela), 82 pp.
- [3] Bunge M., 1995. *Sistemas sociales y filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires, 197 pp.
- [4] Innis, G., 1973. *Simulation of ill-defined systems: Some problems and progress*. Simulation Today 2(1): 33-36.

- [5] Grenón, D.A., 1994. *Agromática: Aplicaciones informáticas en la empresa agropecuaria*. PNATTI. Subsecretaría de Informática y Desarrollo. Secretaría de Ciencia y Tecnología. Presidencia de la Nación. Buenos Aires, 151 pp.
- [6] Vogliotti, A., Nicoletti S. y Lladser M., 1998. *Importancia del marco teórico en los proyectos pedagógicos*. Contextos de Educación I, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- [7] Reinhardt, A., 1995. *Nuevas formas de aprendizaje*. Revista Byte, marzo 1995: 20-32.

Datos de Contacto:

Daniel A. Grenón – Cátedra de Agromática (FCA, UNL)

R.P.L. Kreder 2805 – (3080) Esperanza, Santa Fe, Argentina

Tel. 03496-420639 interno 140 – Fax 03496-426400- dgrenon@fca.unl.edu.ar