

**Presentación de Proyecto de Investigación para su evaluación y acreditación por la
Secretaría de Ciencia, Arte y Tecnología
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.**

Título del Proyecto: Desarrollo de Herramientas Matemáticas y Computacionales para la
Conservación de Recursos Naturales

Apellido y Nombre del Director: CANZIANI, Graciela Ana

Cargo Docente: Prof. Asociada **Categoría de Investigador:** II

Apellido y Nombre del Codirector: FERRATI, Rosana M.

Cargo Docente: Jefe de Trabajos
Prácticos **Categoría de Investigador:** III

Lugar de Radicación: Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo
Sustentable

Unidad Académica: Facultad de Ciencias Exactas

Código y Especificación de Disciplina: (según Tabla)

0799 Ecología Matemática,
0705 Matemática de la utilización de recursos,
0703 Estadística,
1899 Procesamiento de imágenes,
0430 Recursos hídricos,
0207 Ecología,
0452 Conservación y preservación.

Fecha de Inicio del Proyecto : Enero de 2010

Fecha de Finalización : Diciembre de 2012

Evaluación externa: NO

Institución:

Personal Participante:

APELLIDO Y NOMBRE	CAT. INV.	CAT. DOC.	DEDIC.	HS	FUNCIÓN	UNIDAD ACADEMICA	OTRO PROY. (SI-NO)	FIRMA
CANZIANI, Graciela	II	Asoc.	1	30	Director	Exa.	NO	
FERRATI, Rosana	III	JTP	1	30	Co-director	Exa.	NO	
DUKATZ, Federico		Ayd.	3		Integrante	Exa.	NO	

CHAPARRO, Mauro		Ayd.	1	30	Becario CONICET	Exa	NO	
SIMOY, María Verónica		Ayd.	1	30	Becario CONICET	Exa.	NO	
MARINELLI, Claudia	IV	Adj.	1	4	Integrante	Exa.	SI (1)	
TORCIDA, Sebastián	IV	Adj.	1	4	Integrante	Exa.	SI (1)	
GALOTTO, María José		Ayd.	2	15	Integrante	Exa.	(*)	
CASTETS, Florencia			1	10	Apoyo CICPBA	Exa.	NO	
BERKUNSKY, Igor			1	4	Becario CONICET		SI (2)	
KACOLIRIS, Federico			1	4	Becario CONICET		SI (2)	
CARRIZO, Gabriel		Ayd.	1	4	Becario CONICET	Exa.	SI (3)	

(1) Proyecto “*Teoría y Aplicaciones sobre Datos Multivariados, Procesos Estocásticos y Meta-análisis*”, acreditado el Programa de Incentivos a los docentes-investigadores (SPU) en la UNS, Departamento de Matemáticas, Código: 24/L066 Director: Dra. Nélide Winzer.

(2) Proyecto “*Loros Neotropicales: Bases ecológicas para el manejo de poblaciones*” (2009-2011), acreditado el Programa de Incentivos a los docentes-investigadores (SPU) en la UNLP División Zoología Vertebrados y Cátedra de Ecología de Poblaciones, FCNYM. Dirección: Dra. Rosana Mariel Aramburú.

(3) Proyecto “*Problemas de optimización numérica (Etapa IV)*” acreditado el Programa de Incentivos a los docentes-investigadores (SPU) en la UNS, Departamento de Matemáticas, Código LO24/069 (2009). Directora: María Cristina Maciel”

(*) Proyecto del Anexo I al Convenio de Colaboración suscripto entre la UNCPBA y el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) aprobado por OCS N° 3710/08. Unidad Ejecutora: Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable. Dirección Mgr. Claudia Marinelli.

Proyecto

Desarrollo de Herramientas Matemáticas y Computacionales para la Conservación de Recursos Naturales

*** Estado actual del conocimiento sobre el tema**

“This book has its roots in two different areas of mathematics: pure mathematics, where structures are discovered in the context of other mathematical structures and investigated, and applications of mathematics, where mathematical structures are suggested by real-world problems arising in science and engineering, investigated, and then used to address the motivating problem. While there are philosophical differences between applied and pure mathematical scientists, it is often difficult to sort them out.” (p. v).

*Skorokhod, A. V., Hoppensteadt, F. C. and Salehi, H. (2002).
Random Perturbation Methods. New York: Springer Verlag.*

La Biología Matemática es ya reconocida como una de las más interesantes áreas de la Matemática y la de mayor crecimiento en los últimos años, y ha sido considerada por la American Mathematical Society como el área de investigaciones en Matemática del siglo XXI. El uso creciente de la Matemática en las ciencias de la vida es inevitable dado que la Biología se ha vuelto más cuantitativa. La complejidad de las ciencias biológicas hace que el desarrollo interdisciplinario del conocimiento sea esencial. Para los matemáticos, la Biología abre nuevas e interesantes puertas mientras que para los biólogos, la Matemática ofrece herramientas cuya eficiencia es comparable a la que brindan laboratorios con equipamiento de avanzada, siempre que las técnicas matemáticas sean utilizadas apropiadamente y se reconozcan sus limitaciones.

El desarrollo de la teoría en Biología comienza en el mundo natural que observamos y que queremos comprender. Analizando las observaciones se concibe una idea de cómo funciona ese mundo. De esos conceptos surgen hipótesis y tesis que desembocan en la teoría. La teoría puede llevar a predicciones o bien devolvernos a las observaciones para corroborarla. La teoría puede formalizarse utilizando modelos matemáticos que describan adecuadamente las variables y los procesos. El análisis de esos modelos provee otro nivel de conocimiento y de predicciones que necesitan contrastarse con el mundo real. Muchas veces, el análisis que pueda hacerse con los modelos matemáticos es insuficiente y se debe recurrir a simulaciones computacionales. Nuevamente, accedemos a otro nivel de predicciones que nos acercan a un conocimiento más profundo del mundo natural.

Para que los modelos matemáticos puedan producir resultados interesantes y útiles, es necesario que la investigación sea genuinamente interdisciplinaria. La investigación debe ser relevante desde el punto de vista biológico. Los buenos modelos muestran como ocurren los procesos y permiten descifrar los mecanismos que los gobiernan. El poder de los métodos matemáticos reside en que se pueden analizar problemas aparentemente dispares con el mismo tipo de herramientas matemáticas (Mangel, 2006).

El objetivo de unir la investigación de campo y de laboratorio a la modelización matemática en las ciencias biológicas es el de elucidar los procesos biológicos que resultan en un fenómeno observable en particular, ya sea la dinámica de poblaciones interactuantes, la difusión de enfermedades, la invasión de una especie exótica, la proliferación de un parásito, la ocupación del paisaje, la persistencia de una especie amenazada, y muchos otros. Sin embargo, la descripción matemática de un fenómeno biológico no es una explicación biológica sino que permite detectar los

procesos subyacentes y testear hipótesis. Distintos modelos pueden generar comportamientos espaciotemporales similares, pero responden a experimentos diferentes y a grados de resolución distintos y por lo tanto se hace necesario determinar cuán cerca de la realidad biológica está cada uno de ellos. La Matemática se necesita para hacer de puente entre la cantidad de conocimiento empírico que se acumula sobre casos particulares y la visión macroscópica de los patrones que genera la Naturaleza. Aún cuando todos los mecanismos fuesen conocidos y comprendidos, la Matemática se hace necesaria para explorar las consecuencias de la manipulación de los parámetros que determinan los escenarios particulares (Murray, 1998)

Los modelos matemáticos en Ecología Teórica son tal vez la más poderosa forma de engrosar el conocimiento que pueda tenerse de las complejas dinámicas poblacionales en los sistemas naturales. En la actualidad se están explorando y desarrollando nuevas herramientas y técnicas matemáticas para vencer este desafío. Una de las áreas de investigación de punta es la que estudia el rol de la estructura espacial en la organización de los sistemas biológicos. En los modelos ecológicos, la organización espacial, a través de la agregación y difusión de individuos, controla el crecimiento o la extinción de una población nativa o una invasora.

En casi dos décadas el concepto de metapoblaciones se desarrolló a partir de una idea, unos modelos matemáticos simples y algunos pocos casos de estudio, y se ha transformado en una parte esencial de la biología de poblaciones. Algunos temas de biología de metapoblaciones siguen en desarrollo y están siendo elucidados a través de modelos matemáticos, mientras que otros ya están consolidados en teorías sólidas y han sido validados empíricamente y tienen un impacto reconocido en las prácticas de manejo y conservación (Hanski y Gaggiotti, 2003).

El término metapoblación surge de la noción general de estructura jerárquica en la Naturaleza: de individuos a poblaciones, a metapoblaciones. Así como el término población describe a un conjunto de individuos interactuantes de la misma especie, el término metapoblación es apropiado para designar a un conjunto de poblaciones locales conectadas por algún grado de migración en un espacio determinado (Levins, 1970). La visión de los paisajes como redes de parches de hábitats ocupados por poblaciones locales ha facilitado enormemente el estudio teórico en Ecología. Muchas especies tienen esa estructura de ocupación del espacio, y la fragmentación y la pérdida de hábitat están llevando a otras especies a conformar una estructura metapoblacional. Aún cuando otras especies más abundantes tengan una distribución espacial que semeja a un continuo, para su manejo se hace adecuado considerarlas desde un punto de vista metapoblacional (Hanski y Gaggiotti, 2003).

La incorporación del enfoque sistémico en la ecología, ha dado nuevas herramientas conceptuales y metodológicas al problema de entender, estudiar, conservar, utilizar y restaurar a la Naturaleza. Un ejemplo claro es el concepto de ecosistemas, que fue tomando forma en el transcurso de la última mitad del siglo XX, hasta convertirse, hoy en día, en un concepto clave en la teoría ecológica (Cherrett 1989). Los procesos ecológicos operan de manera simultánea y anidada a diferentes escalas espaciales y temporales. Tradicionalmente los estudios ecológicos se realizan a escalas espaciales y temporales muy pequeñas (en unos cuantos m^2 y durante 2 o 3 años), mientras que el manejo de cuencas hidrográficas generalmente opera a escalas mucho mayores (por décadas y cientos de km^2). No siempre es fácil extrapolar a gran escala datos obtenidos a pequeña escala. Es por ello importante realizar investigación ecológica a largo plazo y a gran escala.

La ecología del paisaje se ha instalado como nueva rama científica hace poco más de una década y se encuentra en una etapa de rápida transformación del pensamiento y gran acumulación de observaciones. Se ocupa del estudio de áreas espacialmente heterogéneas en escalas de metros a cientos de kilómetros, con mosaicos complejos de ecosistemas o usos de la tierra, en fragmentos de diversas formas, cantidades, clases, configuraciones y funciones. Se ocupa además, de una amplia gama de situaciones, desde el estudio de las consecuencias de la fragmentación del hábitat en la subsistencia de las poblaciones hasta la planificación del manejo sustentable de una región, pasando por el diseño de reservas, la identificación del sitio más adecuado para una obra de infraestructura, o

la planificación de las actividades productivas a nivel de finca, entre muchas otras (Matteucci, 2002).

Se torna evidente la necesidad de desarrollar herramientas para el estudio de sistemas en múltiples niveles y escalas. Si estas escalas crecen, así como los tiempos de estudio, es indispensable el uso de imágenes provenientes de los sensores remotos. De esta forma, no sólo se pueden abarcar grandes áreas de estudio, sino que se pueden obtener datos con una frecuencia temporal adecuada, e inclusive existe la posibilidad de obtener imágenes pasadas, donde no se ha hecho un estudio de campo. Existe una amplia variedad de sensores remotos dedicados al estudio de la superficie terrestre, que se adecuan a diversas escalas espaciales y temporales. Incluso los hay adecuados a sistemas específicos, como el estudio del agua, de la tierra, de diversos fenómenos meteorológicos, etc. Entonces también se hace evidente la necesidad de desarrollar métodos matemáticos para procesar la información sobre los hábitats capturada por los sensores remotos y para incorporarla a los modelos espacialmente explícitos que se desea desarrollar para estudiar los procesos ecológicos en distintas escalas espaciales y temporales.

Actualmente se está hablando de un nuevo campo del conocimiento basado en la integración de la Matemática, la Computación y la Ecología denominado Informática Ecológica. Los rasgos distintivos de la Informática Ecológica son la integración de datos a través de distintas categorías estructurales de los ecosistemas y distintos niveles de complejidad, inferencias desde los patrones observados en los datos hacia los procesos ecológicos y la simulación adaptiva y la predicción de la evolución de los ecosistemas. Las técnicas de computación inspiradas en la Biología tales como la lógica difusa, las redes neuronales artificiales, los algoritmos evolutivos y los agentes adoptivos son considerados conceptos clave en la informática ecológica (Recknagel, 2003).

Nuestro propósito es dirigirnos en el sentido que está marcando el avance de la Ciencia, desde un enfoque interdisciplinario, para encontrar formas nuevas de integrar distintas herramientas matemáticas y computacionales y desarrollar métodos cuantitativos que permitan ampliar en conocimiento teórico en Ecología y proporcionar aplicaciones para el manejo y conservación de recursos naturales.

*** Objetivos**

Objetivo general

Desarrollo de modelos matemáticos y computacionales destinados al estudio en distintas escalas espaciales y temporales de la dinámica de poblaciones de interés y/o de los condicionantes ambientales que modifican o definen sus hábitats.

Objetivos particulares

- a. Desarrollo de modelos individuales de aspectos fisiológicos y de comportamiento.
- b. Desarrollo de modelos basados en el individuo para el estudio de la dinámica poblacional.
- c. Desarrollo de modelos metapoblacionales usando autómatas celulares para análisis dinámico espacio-temporal.
- d. Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes para estudio de hábitats.
- e. Desarrollo de metodologías fuzzy para parametrización de modelos.
- f. Desarrollo de redes neuronales artificiales para caracterización de hábitats
- g. Desarrollo de modelos de interfase suelo-agua.
- h. Desarrollo de modelos de optimización de uso de recursos naturales.
- í. Desarrollo de técnicas estadísticas para el análisis de datos espacio-temporales (Multitablas), tanto de campo como resultado de las simulaciones.

*** Metodología**

Los objetivos particulares que se plantean tienen como propósito la integración de distintos tipos de herramientas matemáticas y computacionales en modelos tanto teóricos como de aplicación para el manejo y conservación de los recursos naturales. Los modelos permitirán o bien analizar la dinámica intra- e inter-poblacional y la interrelación entre factores biológicos, físicos y químicos en los ecosistemas, o bien permitir el análisis y proponer formas de manejo y explotación de recursos bióticos y abióticos asociados a los ecosistemas bajo estudio. Algunos de estos modelos serán parametrizados y aplicados a casos de estudio provenientes de otros proyectos de investigación acreditados, y que listan más adelante.

Se utilizarán herramientas consideradas clásicas (ecuaciones diferenciales, matrices, optimización, etc.) y se combinarán con otras provenientes del campo de los agentes de inteligencia artificial (autómatas celulares, redes neuronales, sistemas de inferencia difusos, etc.). A continuación se mencionan algunas técnicas que los distintos integrantes del proyecto han venido estudiando y aplicando, y que serán profundizadas e integradas en el desarrollo de nuevas metodologías e instrumentos.

Modelos basados en el individuo

El modelado matemático exige la simplificación de hipótesis sobre el sistema. Muchos modelos clásicos de poblaciones suponen que todos los individuos de una población son idénticos y pueden ser agregados (logístico, Lotka-Volterra). Sin embargo cada organismo de una población es único, y se diferencia de los otros fisiológicamente y en su comportamiento, dependiendo del bagaje genético y de su entorno ambiental. Por otro lado, un organismo dado se ve afectado por otros organismos de su entorno espacio-temporal inmediato, y no todos los miembros de una población ejercen idéntica influencia sobre todos los demás.

En respuesta a la necesidad de distinguir entre individuos para incorporar realismo a los modelos poblacionales, se desarrollaron a mediados de la década de 1940 los modelos estructurados en edades o en tamaños (Leslie, 1945), agregando a los individuos por clases según sus características comunes. Recientemente, la flexibilidad y eficiencia de tales modelos fue redescubierta y puesta nuevamente en uso (Caswell, 2001).

Otro tipo de respuesta es la que ofrecen los modelos basados en procesos a nivel de organismos individuales (DeAngelis y Gross, 1992), ya sea basados en el desarrollo analítico (i-state distribution models), o bien implementados a través de simulaciones en computadoras (i-state configuration models). Estos modelos llamados Modelos Basados en el Individuo (IBM) tienen una gran ventaja: los conceptos desarrollados a nivel del individuo pueden ser usados para comparar y extrapolar conceptos de una jerarquía de organización a otra: individuo → población → comunidad → ecosistema.

Sin embargo también presentan dificultades en el sentido de su necesidad de contar con información detallada sobre los procesos que permita calcular los parámetros del modelo, o bien en la necesidad de un estudio prolongado sobre variabilidad de comportamientos individuales e interrelaciones. En muchos casos la técnica ha resultado muy apropiada y exitosa, y ha permitido un mejor entendimiento de la dinámica en niveles jerárquicos superiores cuando hay perturbaciones a nivel individual. En particular, en las situaciones en que se estudian efectos de sustancias tóxicas sobre poblaciones, estos modelos han demostrado su gran potencial (Hallam et al, 1990, 1993, 1996). En un plano más general, toda vez que resulta crucial tener en cuenta el estado individual como determinante de la capacidad reproductiva del individuo resulta imprescindible recurrir a modelos IBM para analizar la dinámica poblacional. Kooijmann (2000) plantea los distintos aspectos de la fisiología individual que pueden marcar diferencias entre integrantes de una población y tener efecto en su dinámica, y lo hace tomando como eje el balance energético individual.

Sistemas de inferencia difusos

La heterogeneidad y la incertidumbre son características de los datos acumulados en los estudios ecológicos. En Ecología se reúne y se utiliza información de diferentes fuentes y de diversas campañas. Esta información puede ser tanto objetiva (cuantitativa) como subjetiva (cualitativa), es decir tanto medida como recogida del conocimiento “experto”. Dado que no todos los parámetros son medibles, se hace necesario trabajar con una mezcla subjetiva (ponderada) de conocimiento cuantitativo y cualitativo. En problema de la incertidumbre aparece en la modelización matemática, sobre todo cuando se trata del conocimiento experto vagamente definido, pero también en la incertidumbre inherente a la presencia de variables estocásticas, datos incompletos o imprecisos, estimaciones aproximadas en lugar de mediciones, o datos no comparables debido a diferentes metodologías de cuantificación.

El conocimiento obtenido a partir de la experiencia de muchos años de investigación es valiosa, pero muchas veces no es fácilmente cuantificable y no puede ser incorporada a modelos matemáticos de tipo clásico (ecuaciones diferenciales p. ej.). La modelización basada en teoría de conjuntos borrosos, difusos o fuzzy y técnicas de inferencia parece ser una herramienta adecuada para vencer este obstáculo. El enfoque con sistemas de inferencia difusos no involucra ninguna metodología en particular, sino la integración del concepto “borroso” en los métodos usuales de modelización, análisis o procesamiento de datos. Es una extensión de los métodos convencionales que permite utilizar datos imprecisos, heterogéneos o inciertos.

Varios autores están usando teoría de conjuntos borrosos, difusos o fuzzy en el tratamiento de distintos problemas (Krivan y Colombo, 1998; Chen et al., 2000; Barros et al., 2003; Jafelice et al., 2002a, 2003, 2004; Ortega et al., 2003). En cada caso los resultados parecen pertinentes y los modelos reproducen con precisión las situaciones que están siendo modeladas. Según Xu y coautores (2008), el número de publicaciones en Bioinformática utilizando lógica difusa se incrementó de menos de 50 en 1980 a 340 en 2006. Kosko (1993) ha demostrado que los sistemas basados en lógica difusa son aproximadores universales a relaciones funcionales no lineales generales con el grado de precisión que se desee. De esta forma, la modelización basada en lógica difusa es una herramienta muy adecuada para explorar problemas biológicos complejos y no lineales.

Autómatas celulares

La construcción de modelos espaciales no tiene por objetivo complejizar la formulación de los mismos, sino representar las poblaciones en el espacio que ellas ocupan y analizar como varía el comportamiento de las mismas como respuesta a las modificaciones que sufre el paisaje. Los modelos, en particular los de dinámica espacial, pueden ser desde muy simples hasta altamente complejos. Sin embargo, el comportamiento dinámico que ellos muestran va mucho más allá del nivel de complejidad esperado normalmente, esto es, un modelo muy simple puede simular dinámicas muy complejas.

Los autómatas celulares (AC) son una clase de modelos simples donde el espacio es una variable dinámica. Estos modelos son muy apropiados para representar sistemas complejos donde la interacción local es fuerte. Los AC son sistemas de celdas que interactúan de forma sencilla pudiendo mostrar comportamientos complejos globalmente. El sistema está compuesto por una red de celdas de 1, 2 o 3 dimensiones. La interacción entre celdas vecinas se hace mediante reglas que gobiernan la transición entre los distintos estados discretos que puede adoptar cada celda. En estos modelos tanto el tiempo como el espacio son considerados discretos. En cada paso de tiempo cada celda actualiza su estado de acuerdo a las reglas de transición teniendo en cuenta el estado de las celdas vecinas. Al iniciar una simulación se debe definir una configuración inicial y luego de un número finito de unidades de tiempo el sistema evoluciona de acuerdo a las reglas de transición dadas. Las reglas de transición pueden ser determinísticas –AC determinísticos- o pueden incorporar algún elemento estocástico –AC estocásticos-. El comportamiento de los AC varía en un amplio espectro: algunos se estabilizan y permanecen en una configuración fija, otros exhiben un

comportamiento periódico, otros presentan patrones caóticos y, por último, otros adoptan configuraciones complejas imprevisibles. Esto muestra como interacciones simples pueden producir dinámicas espaciales altamente complejas. Lo más interesante de los AC es la forma en la cual el espacio y las interacciones espaciales son considerados. Más allá que el espacio esté discretizado, no existe impedimento en la circulación de la información. Para cada celda su vecindario constituye su único conjunto importante debido a que su comportamiento dependerá de ella misma y del vecindario y no del comportamiento global de la red.

El uso de los AC en Ecología esta relacionado con la heterogeneidad o fragmentación espacial. La fragmentación del hábitat afecta los procesos biológicos como por ejemplo, el comportamiento de forrajeo, la historia de vida, la dinámica poblacional y la supervivencia, la interacción entre poblaciones y la diversidad biótica global. La mayoría de los trabajos realizados permiten ver cómo los procesos biológicos responden a la heterogeneidad ambiental pre-existente. Sin embargo, también es posible usar estos modelos para contestar la pregunta inversa, esto es, cómo los procesos biológicos pueden crear, realzar o mantener la fragmentación ecológica.

Redes neuronales

El desarrollo de las redes neuronales artificiales se inició hace unos 60 años, con el objetivo de comprender el funcionamiento del cerebro y emular sus fortalezas, ayudado por el rápido desarrollo de la computación. Recientemente ha resurgido el interés en estas herramientas debido a los progresos técnicos en computación para las simulaciones tanto como en el desarrollo de mejores técnicas de entrenamiento y arquitecturas más sofisticadas. También se han ampliado los campos de aplicación.

Una red neuronal artificial es un sistema de procesamiento de señales que tiene algunas características similares a las de las redes neuronales biológicas. Son generalizaciones de modelos matemáticos de aspectos de la biología neuronal y del proceso cognitivo humano. Suponen que el procesamiento de la información ocurre en muchos elementos simples denominados neuronas, que las señales son pasadas de neurona en neurona por conexiones y cada conexión tiene asociado un peso que usualmente multiplica la señal transmitida, y, finalmente, que cada neurona aplica una función de activación generalmente no lineal a su input (suma pesada de las señales de entrada) para determinar la señal de salida o output (Fausett, 1994).

Cada red neuronal está caracterizada por su patrón de conexiones entre neuronas (su arquitectura), por el método usado para determinar los pesos de las conexiones (entrenamiento, aprendizaje o algoritmo) y por la función de activación utilizada.

Uno de sus atractivos es la capacidad de realizar cómputos, tales como aproximar o representar una función, más allá del sentido biológico de la red neuronal. Las aplicaciones más numerosas se dan en el procesamiento de señales, en problemas de control, y en reconocimiento de patrones. En realidad, las redes neuronales pueden aplicarse a una gran variedad de problemas tales como almacenamiento de datos o patrones, ejecución de aplicaciones de patrones de entrada a patrones de salida, clasificación de patrones o solución de problemas de optimización con restricciones.

Optimización

Cuando la dinámica de un sistema se formula a través de un modelo, sea con ecuaciones diferenciales ordinarias, en derivadas parciales o con ecuaciones en diferencias, y que el sistema tiene una o varias variables que pueden ser controladas externamente, surge el problema de cómo controlar ese elemento para producir la mejor salida, medida en relación a metas predefinidas. La teoría de control óptimo u optimización dinámica tiene aplicaciones en muchísimos campos, y desde luego también en la Biología, la Ecología y la Economía.

Los problemas de complementariedad, desde su origen en la década del '60, han recibido una creciente atención ya que abarca problemas de optimización y de equilibrio permitiendo aplicaciones que van desde la ingeniería a la economía (Ferris y Pang, 1997). Estos problemas consisten en un sistema finito de desigualdades no lineales y un número finito de variables no

negativas, junto con una condición de complementariedad entre las variables y las desigualdades correspondientes. Esta condición es clave en todo problema de optimización con restricciones (condición de complementariedad del multiplicador de Kuhn-Tucker asociado a las desigualdades) y provee el marco teórico adecuado para el tratamiento de diversos problemas de equilibrio.

Entre los problemas de equilibrio estudiados en la actualidad se encuentran problemas de mecánica (fricción e impenetrabilidad), ingeniería estructural, operación industrial y problemas de flujo en redes. Entre los problemas de redes se encuentran los problemas económicos de equilibrio de mercados financieros internacionales, los problemas de cadenas de provisión (supply chain) y los problemas de afectación de tráfico. La dificultad común de estos problemas es la presencia de objetivos que compiten para ser optimizados, lo que dificulta la obtención de una función escalar (energía, entropía, etc.) a optimizar.

Procesamiento de imágenes

El procesamiento y análisis de imágenes involucra trabajar con información que se refiere a valores de intensidad en cada píxel de una imagen y generalmente el resultado termina siendo otra imagen, producto de la aplicación de distintos algoritmos. Si bien en sus inicios, el procesamiento de imágenes atrajo la atención fundamentalmente de quienes trabajan en computación, en la actualidad hay mucho mayor interés por parte de los matemáticos.

Los puntos anteriores se pueden ver enriquecidos con el uso de imágenes satelitales, con el propósito de un estudio a gran escala de hábitats naturales. Los modelos de redes neuronales y autómatas celulares han sido ampliamente utilizados en combinación con el procesamiento de imágenes de sensores remotos con buenos resultados.

Métodos estadísticos, Análisis Multitablas

El desarrollo de aplicaciones en el contexto de las ciencias del ambiente produce datos caracterizados por la presencia de relaciones difusas y complejas entre las variables involucradas. Tales relaciones reflejan la naturaleza particular de la variabilidad presente en ese tipo de datos. Algunos problemas que deben enfrentarse con frecuencia están ligados a: métodos espaciales de muestreo, regionalización de variables, series temporales, identificación de ciclos y patrones, discriminación, sistemas multivariados, etc. Por este motivo y buscando tanto una implementación eficiente de los métodos propuestos como la evaluación de sus resultados y la calibración de los respectivos modelos, se contempla el empleo de diversas herramientas estadísticas; éstas podrán incluir herramientas clásicas pero también se contempla la elaboración de nuevas metodologías que permitan resolver problemas concretos que oportunamente surjan.

El problema de datos dispuestos en multitablas o multivías, donde, por ejemplo, cada tabla o matriz corresponde a una época de muestreo y se pretende estudiar la evolución del sistema a lo largo del tiempo esta resuelto en parte, por los métodos STATIS o STATIS canónicos (Vallejo Arboleda et al., 2007); pero los mismos utilizan la distancia euclídea como medida de asociación o diferencia entre individuos de una multitabla.

La distancia euclídea no siempre es adecuada para el análisis de datos de origen ecológico y con variación espacial o temporal, tales como biomasa de especies vegetales, abundancia de especies demersales, datos composicionales, datos de identificación de estado trófico, etc.

El uso de otras distancias para medir diferencias entre grupos o individuos conduce al Análisis basado en distancias. Sobre la base de cualquier distancia como medida de asociación entre individuos y su descomposición en coordenadas principales, se adaptará la definición de la matriz interestructura para a partir de ella, definir un espacio de referencia común.

Dado que una multitabla puede ser vista como un arreglo multifactorial es necesario buscar la manera de realizar los test de permutación asociados a diseños factoriales. Se desarrollarán además, rutinas en R para cada propuesta metodológica.

*** Antecedentes del grupo en la temática**

El Grupo de Ecología Matemática ha venido trabajando consistentemente en modelización en distintos proyectos acreditados por la Universidad, así como en proyectos financiados por fuentes internacionales. Estos proyectos se listan en el Anexo I.

El Grupo de Ecología Matemática y el Grupo de Estadística del Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable integran también redes para desarrollar proyectos de investigación que se listan en el Anexo I.

En el Anexo II se listan las publicaciones resultantes de trabajos de modelización realizados en el marco de estos proyectos.

Los integrantes del grupo han trabajado incorporados separadamente en los distintos proyectos, proponiendo y desarrollando diferentes técnicas de modelización según los requerimientos particulares. En esta oportunidad, hemos considerado que un trabajo en conjunto, integrando diferentes técnicas, puede ser mucho más provechoso y sus efectos sinérgicos ofrecer un resultado más interesante desde el punto de vista matemático y, a la vez, más útil a los colegas con quienes colaboramos.

En este sentido, desde el presente proyecto se colaborará con los siguientes proyectos:

- A - Proyecto “*Caracterización de diferentes aspectos estructurales y funcionales de ecosistemas acuáticos pampeanos, que contribuyan a la elaboración de pautas de gestión responsable*” (2010-2012), presentado en el Programa de Incentivos a los docentes-investigadores (SPU). Dirección: Mg. Fabian Grosman. Lic. Oscar Diaz
- B – Proyecto “*Ganadería, ñandúes y pago por servicios ambientales: modelo pampeano para la crisis alimentaria y ambiental (Parte II)*” presentado en el Programa de Incentivos a los docentes-investigadores (SPU). Dirección: Mg. Fernando Milano. (Parte I tiene código 03/H209).
- C – Proyecto “*Loros Neotropicales: Bases ecológicas para el manejo de poblaciones*” (2009-2011), acreditado el Programa de Incentivos a los docentes-investigadores (SPU) en la UNLP División Zoología Vertebrados y Cátedra de Ecología de Poblaciones, FCNYM. Dirección: Dra. Rosana Mariel Aramburú.
- D – Proyecto “*Desarrollo de un simulador WEB de empresas agropecuarias para el análisis, aprendizaje y el apoyo para la toma de decisiones*” (2009-2012). Proyecto PICT- START UP 2007-00184, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, de acuerdo a lo dispuesto en su Resolución n° 050/09, y acreditado en el Programa de Incentivos a los docentes-investigadores (SPU) con Código 03/H235. Director: Dr. Claudio Machado.
- E- Proyecto “*Teoría y Aplicaciones sobre Datos Multivariados, Procesos Estocásticos y Meta-análisis*”, acreditado en la UNS(2009-2011), Código: 24/L066 Director: Dra. Nelida Winzer.
- F – Proyecto “*Epidemiología y control de las enfermedades parasitarias de los animales domésticos*”, presentado en el Programa de Incentivos a los docentes-investigadores (SPU). Dirección: Dr. César Alberto Fiel.
- G – Proyecto “*Effects of Biological Interactions on Plant Recruitment Limitation*”. Dirigido por el Dr. Javier Ruiz (Universidades de las Regiones Autónomas de la Costa Atlántica de Nicaragua) y en el cual colaboran el Dr. John Vandermeer (University of Michigan), Dr. Douglas Boucher (Union of Concerned Scientists), Dr. Diego Ruiz Moreno (Cornell University) y Lic. Verónica Simoy (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires). Proyecto presentado a la International Foundation for Science solicitando

un subsidio para financiar la toma de datos en dos sitios de regeneración del bosque húmedo de Nicaragua dañado por el Huracán Juana en 1988.

*** Plan de Actividades, estado de avance del proyecto y cronograma**

Las actividades que permitirán el cumplimiento de los objetivos se discriminan de manera general. Cada objetivo particular incluirá todas las actividades o parte de ellas según el grado de avance que sobre el tema ya haya alcanzado el grupo.

- Fase 1. Búsqueda de bibliografía complementaria a la existente.
- Fase 2. Análisis y estudio de los temas que competen a cada uno de los casos de aplicación.
- Fase 3. Discusión entre los modeladores y los integrantes de los proyectos asociados para la identificación de preguntas a responder con las herramientas a desarrollar.
- Fase 4. Desarrollo de la herramienta matemática y/o computacional específica y aplicación al caso de estudio.
- Fase 5. Análisis de resultados y repreguntas con los integrantes de los proyectos asociados.
- Fase 6. Sistematización del material para formación de becarios y/o dictado de cursos de grado y posgrado.
- Fase 7. Publicación de resultados.

En el caso particular de las Fases 3, 4 y 5 se trabajarán para cada objetivo particular planteado, y en conjunto con los grupos y proyectos mencionados, las aplicaciones que se detallan:

a. Desarrollo de modelos individuales de aspectos fisiológicos y de comportamiento.

Aplicaciones:

- a.1. Estudio de la capacidad reproductiva en función del comportamiento y el presupuesto energético individual.
- a.2. Estudio de la variación diaria de peso del ñandú común, *Rhea americana* como respuesta a sus conductas comportamentales y tasa de ingesta
- a.3. Estudio de los efectos de la carga parasitaria en ganado vacuno para la generación de estrategias de control de la parasitosis en la región pampeana.

Vinculación con otros objetivos: los resultados se convierten en insumo de los modelos de tipo b, c, e y/o h

Grupos de trabajo: Grupos de Ecología Matemática-Recursos Naturales y Sustentabilidad.

Proyectos vinculados: A, C, D y F

b. Desarrollo de modelos basados en el individuo para el estudio de la dinámica poblacional.

Aplicaciones:

- b.1 Estudio de la dinámica poblacional del ñandú *Rhea americana* mediante la construcción de modelos matemáticos que considerarán las aplicaciones a.1 y a.2.
- b.2. Construcción de un modelo basado en el individuo y un modelo matricial para estudiar la dinámica poblacional del almendro, *Dipteryx oleifera*, y comparación de las dinámicas ambos modelos.
- b.3. Estudio de la dinámica poblacional de parásitos vacunos nematodos

Vinculación con otros objetivos: a y c

Grupos de trabajo: Ecología Matemática. Recursos Naturales y Sustentabilidad

Proyectos vinculados: B, C, E, F y G

c. Desarrollo de modelos metapoblacionales usando autómatas celulares para análisis dinámico espacio-temporal.

Aplicaciones:

c.1. Estudio de la dinámica poblacional del ñandú *Rhea americana* en respuesta a la heterogeneidad de la calidad de hábitat

c.2. Estudio de las declinaciones poblacionales bajo diferentes escenarios sujetos a aleatoriedad genética, demográfica y ambiental para un análisis de viabilidad poblacional de especies amenazadas (Guacamayo barba azul *Ara glaucogularis*, Lagartija de los médanos *Liolaemus multimaculatus*).

Vinculación con otros objetivos: a y b

Grupos de trabajo: Ecología Matemática, Estadística, Recursos Naturales y Sustentabilidad, División Zoología de Vertebrados y Cátedra de Ecología de Poblaciones UNLP.

Proyectos vinculados: B, C y E.

d. Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes para estudio de hábitats.

Aplicaciones:

d.1. Determinación de parámetros morfológicos, fisicoquímicos y biológicos a partir de la plataforma STONE (System for Temporal Observation of Natural Environments, F. Dukatz)

d.2. Utilización de la técnica de Desmezclado Espectral para identificación de hábitats en lagunas pampeanas

d.3. Clasificación de la cobertura terrestre a gran escala utilizando secuencias de imágenes.

Vinculación con otros objetivos: f, y además determinación de hábitats en los Esteros del Iberá.

Grupos de trabajo: Ecología Matemática. Gestión de Ambientes Acuáticos Continentales. Recursos Hídricos. Estadística. Red Iberaqua.

Proyectos vinculados: A, Red Iberaqua

e. Desarrollo de metodologías fuzzy para parametrización de modelos.

Aplicaciones:

e.1. Desarrollo de modelo de *Ostertagia ostertagi* para la generación de estrategias de control de la parasitosis en la región pampeana.

e.2. Desarrollo de modelos para la evaluación de stock de peces en sistemas lacunares

Vinculación con otros objetivos: a y h

Grupos de trabajo: Ecología Matemática.

Proyectos vinculados: A y F.

f. Desarrollo de redes neuronales artificiales para caracterización de hábitats

Aplicaciones:

f.1. Determinación de la concentración de clorofila y sólidos disueltos a partir de datos obtenidos de imágenes satelitales.

f.2. Inferencia de cadenas tróficas y estado de los cuerpos de agua en función de clorofila y sólidos determinados.

f.3. Análisis de la dinámica espacio-temporal de los cuerpos lagunares pampeanos.

Vinculación con otros objetivos: d e i.

Grupos de trabajo: Grupo de Gestión de Ambientes Acuáticos Continentales. Grupo de Recursos Hídricos. Grupo de Estadística.
Proyectos vinculados: A y E.

g. **Desarrollo de modelos de interfase suelo-agua.**

Aplicaciones:

- g.1. Determinación de agua disponible y flujo en suelos pampeanos para distintos escenarios; de sequías extendidas a anegamiento.
- g.2. Cuantificación del costo de agua virtual contenida en productos agropecuarios generados en el país y puestos en el mercado internacional.

Vinculación con otros objetivos: Pago por servicios ambientales.

Grupos de trabajo: Ecología Matemática. Recursos Naturales y Sustentabilidad.

Proyecto vinculado: B

h. **Desarrollo de modelos de optimización de uso de recursos naturales.**

Aplicaciones:

- h.1. Desarrollo de modelos para optimización de beneficios económicos en actividades agrícolas con restricciones ecológicas.

Vinculación con otros objetivos: Pago por servicios ambientales.

Grupos de trabajo: Ecología Matemática. Recursos Naturales y Sustentabilidad.

Proyecto vinculado: B

í. **Desarrollo de técnicas estadísticas para el análisis de datos espacio-temporales, tanto de campo como resultado de las simulaciones.**

Aplicaciones:

- i.1. Análisis espacio-temporal de muestreo de lagunas de la Provincia de Buenos Aires.
- i.2. Implementación y/o desarrollo de métodos para la calibración de los modelos y la evaluación de los resultados obtenidos.

Vinculación con otros objetivos: todos.

Grupos de trabajo: Estadística. Gestión de Ambientes Acuáticos Continentales. Recursos Hídricos. Ecología Matemática

Proyectos vinculados: Proyectos A y E y Convenio de Colaboración entre la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). RCS. 3710/08. Optimización de las estimaciones de abundancia de la ictiofauna en el sistema costero entre 33 y 41°S y hasta la isobata de los 50 m de profundidad a partir de los datos obtenidos de Cruceros de Investigación llevados a cabo con los buques de investigación del INIDEP. Análisis Espacio-Temporal de las áreas de muestreo en campañas de investigación.

*** Aportes académicos y de transferencia esperados**

Con un desarrollo integrado de modelos matemáticos y computacionales de distinto grado de resolución en las estructuras biológica (individuo, población, comunidad, etc.), espacial y temporal, se espera contribuir en forma significativa al manejo y conservación de recursos naturales. Por un lado se pretende desarrollar modelos de tipo teórico, que sirvan para la interpretación de interacciones y procesos ecológicos. Por el otro se plantea el desarrollo de aplicaciones a situaciones específicas encontradas en otros proyectos de investigación que ofrecerán sus datos para calibrar los modelos y utilizarán los modelos para responder a las hipótesis propuestas. En algunos casos, las herramientas desarrolladas servirán de base a distintos tomadores de decisión, para la

elaboración de políticas ambientales globales en un contexto de sustentabilidad y optimización de uso o de conservación de los recursos bajo estudio.

Los resultados y las conclusiones a las que se llegará serán transferidos al propio medio académico mediante la presentación en congresos, jornadas, revistas especializadas y otros ámbitos propicios para la difusión de medidas de manejo tendientes a optimizar el uso del recurso natural, tales como conferencias, cursos dirigidos a diferentes sectores sociales, etc.

El aporte académico será el avance en el desarrollo de metodologías de procesamiento de imágenes, la construcción de modelos matemáticos novedosos para el estudio de poblaciones, comunidades o ecosistemas y la generación de herramientas computacionales que integren el conocimiento de las componentes biológicas y ambientales.

*** Facilidades disponibles y/o formas de acceso**

Considerado el lugar de implementación del proyecto en su sentido físico, infraestructura, PCs, programas computacionales específicos, laboratorios, bibliografía, etc., se cuenta con el material ya adquirido y que se viene empleando en los distintos grupos. Los diversos convenios interinstitucionales ya establecidos garantizan tanto la ejecución de tareas, como el traslado inmediato de los resultados y conclusiones.

Los elementos necesarios para la ejecución del proyecto se hallan presentes, en función que el mismo constituye una continuación de las investigaciones que los integrantes de los grupos vienen realizando, pero esta vez integradas en el abordaje de un objetivo común de mayor complejidad.

Las imágenes satelitales ya están acordadas con la frecuencia requerida por la CONAE a través del convenio con la Universidad. Los insumos para el funcionamiento se hallan presupuestados de forma ordinaria y se cubrirán con los fondos asignados al Instituto.

*** Principal bibliografía sobre el tema**

- Abdi, H.; Valentin, D.; O'Toole, A.J.; B. Edelman** (2005). *DISTATIS: The analysis of multiple distances matrices*. Proceedings of the IEEE Computer Society: Int. Conf, on Computer Vision and Pattern Recognition (San Diego, CA, USA): 42-47
- Abdi, H.; Valentin, D.; Chollet, S.; Chrea, C.** (2007). *Analyzing assessors and products in sorting tasks: Distatis, theory and applications*. Food Quality and Preference 18: 627-640.
- Amaro I. R.; Vicente Villardón J. L.; Galindo Villardón M.P.**(2004). *MANOVA biplot para arreglos de tratamientos con dos factores basados en modelos lineales generales multivariantes*. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela. pp26-32.
- Aubert, G.; Kornprobst, P.** (2002). *Mathematical Problems in Image Processing*. Springer-Verlag, New York, Inc. 286 pag.
- Barros, L., Bassanezi, R. C., Leite, M. B.** (2003). *The epidemiological models SI with fuzzy parameter of transmission*. Comput. Math. Appl. 45, 1619-1628.
- Brauer, F.; Castillo-Chavez, C.** (2001). *Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology*. Springer-Verlag, New York, Inc. 416 pag.
- Caswell, H.** (2001). *Matrix Population Models*. Sinauer Associates, Inc. 722 pag.
- Chen, D., Hargreaves, N., Ware, D., Liu, Y.** (2000). *A fuzzy logic model with genetic algorithm for analyzing fish stock–recruitment relationships*. J. Fish. Aquat. Sci. 57, 1878-1887.

- Cherrett, J.M.** (Ed) (1989). *Ecological Concepts: The contribution of Ecology to an Understanding of the Natural World*. Blackwell, Oxford.
- DeAngelis, D.; Gross, L.J.** (Editores) (1992). *Individual-Based Models and Approaches in Ecology*. Routledge, Chapman & Hall, Inc. 525 pag.
- de Jong, S.M.; van der Meer, F.D.** (2005) *Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain*, Springer, 370 pag.
- Fausett, L.** (1994). *Fundamentals of Neural Networks*. Prentice Hall, Inc. 461 pag.
- Ferris, M.C.; Pang, J.S.** (1997), *Engineering and economic applications of complementarity problems*. SIAM Review, 39(4):669–713,
- Gurney, W.S.; Nisbet, R.M.** (1998). *Ecological Dynamics*. Oxford University Press. 335 pag.
- Hallam, T.G., G.A. Canziani, R.R. Lassiter.** (1993). *Sublethal narcosis and population persistence: A modelling study on growth effects*. Environ. Toxicol. Chem. 12:947-954.
- Hallam, T.G., G.A. Canziani, K. Lika.** (1996). *On the relationships between bioassays and dynamics in chemically stresses, aquatic population models*. Ecología Austral 6:45-54.
- Hallam, T.G., R.R. Lassiter, J. Li, W. McKinney.** (1990a). *Determination of effects of lipophilic toxicants on dynamics of Daphnia populations*. Environ. Toxicol. Chem. 9:597-621.
- Hallam, T.G., R.R. Lassiter, J. Li, W. McKinney.** (1990b). *Modelling the effects of toxicants on fish populations*. In Proceedings of the Symposium on Fish Toxicology, Fish Physiology, and Fisheries Management. R.Ryans (ed.). pp.299-320, EPA/600/9-90/011, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.
- Hallam, T.G., R.R. Lassiter, J. Li, L.A. Suarez,** 1990. *Modelling individuals employing an integrated energy response: Application to Daphnia*. Ecology 71:938-954.
- Hanski, I.** (1999). *Metapoblation Ecology*. Oxford University Press. 313 pag.
- Hanski, I.; Gaggiotti, O.E.** (2003) *Ecology, Genetics, and Evolution of Metapopulations*. Elsevier, Academic Press, 698 pag.
- Houston, A.; McNamara, J.** (1999). *Models of Adaptive Behaviour*. University Press, Cambridge. 378 pag.
- Jafelice, R., Barros, L. C., Bassanezi, R. C., Gomide, F.** (2002). *Fuzzy rules in asymptomatic HIV virus infected individual model*. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. 85, 208-215.
- Jafelice, R., Barros, L. C., Bassanezi, R. C., Gomide, F.** (2003). *Modelos epidemiológicos com parâmetros subjetivos*. Technical Report, Department of Computer Engineering and Industrial Automation, FEEC, State University of Campinas, Brazil.
- Jafelice, R., Barros, L. C., Bassanezi, R. C., Gomide, F.** (2004). *Fuzzy Modeling in Symptomatic HIV Virus Infected Population*. Bull. Math. Biol. 66, 1597-1620.
- Kamien, M.; Schwartz, N.** (1991). *Dynamic Optimization*. Elsevier Science Publishing Co., Inc. 377 pag.
- Kinzig, P.; Pacala, S.; Tilman, D.** (Editors) (2001) *The Functional Consequences of Biodiversity*. Princeton University Press. 365 pag.
- Kooijman, S.A.L.M.** (2000) *Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems* Cambridge University Press, 420 pag.

- Kosko, B.** (1993). *Fuzzy systems as universal approximators*. Proceedings of the 1992 IEEE Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-92), March 1992, San Diego, California. IEEE Trans. Comput. pp. 1153–1162.
- Kot, M.** (2001). *Elements of Mathematical Ecology*. University Press, Cambridge. 453 pag.
- Krivan, V., Colombo, G.** (1998). *A non-stochastic approach for modelling uncertainty in population dynamics*. Bull. Math. Biol. 60, 721-751.
- Lenhart, S.; Workman, J.** (2007). *Optimal Control Applied to Biological Models*. Taylor & Francis Group, LLC. 261 pag.
- Levins, R.** (1970). *Extinction*. Lect. Notes Math. 2, 75-107.
- Logofet, D.** (1993). *Matrices and Graphs*. CRC Press, Inc. 308 pag.
- Mangel, M.; Clark, C.** (1988). *Dynamic Modeling in Behavioral Ecology*. Princeton University Press. 301 pag.
- Mangel, M.** (2006). *The Theoretical Biologist's Toolbox*. University Press, Cambridge. 375 pag
- Matteucci, S.D.** (2002) *La creciente importancia de los estudios del medio ambiente*. Fronteras, Publicación del Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente-UBA, Año 1, enero 2002.
- Murray, J.D.** (1989). *Mathematical Biology*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 767 pag.
- Ortega, N., Barros, L. C., Massad, E.** (2003). *Fuzzy gradual rules in epidemiology*. Kybernetes: Int. J. Syst. Cybernetics 32, 460-477.
- Phipps, M.** (1989) *Dynamical behavior of Cellular Automata under the constraint of neighborhood coherence*. Geogr. Anal. 21:197-215.
- Recknagel, F.** (2006). *Ecological Informatics*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 496 pag.
- Renshaw, E.** (1991). *Modelling Biological Populations in Space and Time*. University Press, Cambridge. 403 pag.
- Rohatgi, V. K.** (1984). *Statistical Inference*. John Wiley & Sons, New York. 940 pag.
- Roughgaraden, J.** (1998). *Primer of Ecological Theory*. Prentice-Hall, Inc. 456 pag.
- Tilman, D.; Kareiva, P.** (1997). *Spatial Ecology*. Princeton University Press. 368 pag.
- Tuljapurkar, S.; Caswell, H.** (1997) *Structured-Population Models in Marine, Terrestrial, and Freshwater Systems*. Chapman & Hall. 643 pag.
- Vallejo Arboleda, A; Vicente Villardon, J; Galindo Villardon, P.** (2007) *Canonical STATIS: Biplot analysis of multitable group structured data based on STATIS-ACT methodology*. Computational Statistics and data analysis 51: 4193-4205.

*** Fuentes de financiamiento.**

Se cuenta con los fondos asignados al Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable a través de la Línea A1, así como los asignados por la Facultad de Ciencias Exactas y los que eventualmente correspondan por colaboraciones con otros proyectos.

Los proyectos citados en la página 10 con los que vincula este proyecto cuentan con sus respectivas fuentes de financiación.

ANEXO I

Distintos **proyectos** acreditados por la Universidad, así como en proyectos financiados por fuentes internacionales, en los que se han desempeñado integrantes del Grupo de Ecología Matemática.

- Proyecto ALFA: **Red IBERA para el estudio, conservación y explotación sustentable del ecosistema de los Esteros del Iberá**. Director de la Red: Prof. Dr. Claudio Rossi (Universidad de Siena). Dirección del Grupo de Investigadores Miembros de la UNCPBA: Dra. Graciela Canziani. Participantes: Ing. Rosana Ferrati, Lic. Marcela Uhart (1997)
- **"Modelos Matemáticos Aplicados a Ecología: Ecosistemas Acuáticos"**. NUCOMPA, Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro, Tandil. **Dirección: Dra. Graciela Canziani**. Participantes: Ing. Rosana Ferrati (Desde 1995 a 1998), Lic. Marcela Uhart (Desde 1995 a 1997).
- **The sustainable management of wetland resources in Mercosur, Proyecto INCO DC, Comunidad Europea**, que nucleó a 4 universidades sudamericanas (Univ. del Salvador, UNCPBA, Univ. S. Campinas, Univ. Fed. Rio Grande do Sul) y 4 universidades europeas (Univ. Siena, Univ. Cádiz, Univ. Aveiro, Univ. York) bajo la coordinación general del Consorzio per lo Sviluppo dei Sistemi Grande Interfase (Italia) y la dirección del Prof. Dr. Claudio Rossi. Participaron también equipos del Laboratorio di Idrobiologia di Roma (Ministerio de Políticas Agrarias), y las Universidades de Roma III, y Nacional de Luján. **Coordinación de los equipos de modeladores: Dra. Graciela Canziani** (UNCPBA, Universidad Estadual de Campinas, Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Universidad de Siena). Equipo UNCPBA: Dra. G. Canziani, Ing. R. Ferrati, Lic. P. Federico, Ing. A. Canónica, Ing. D. Ruiz Moreno, M.V. F. Milano, Lic. Marcelo Gandini (Ver <http://www.unisi.it/wetlands>, <http://www.exa.unicen.edu.ar/~wetland/>)
- **Participación en la Misión Satélite de Aplicaciones Científicas SAC-C, CONAE**, para el uso científico de imágenes satelitales con el proyecto *The sustainable management of wetland resources in Mercosur*. **Investigador Responsable: Dra. G. A. Canziani**. (Ver <http://orbis.conae.gov.ar/sac-c/>)
- **Regional aspects of the sustainable management of wetland resources (REGWET)** financiado por la Comisión Europea (Region LAM, Research area INCO A4 DEV ICFP 599A4AM01) como prolongación al Paraguay del proyecto INCO DC *The sustainable management of wetland resources in Mercosur*. Instituciones participantes: Universidad de Siena, UNCPBA, Universidad del Salvador, Laboratorio de Hidrobiología de Roma, CONAE, Universidad Nacional de Asunción. Dirección: Dr. Claudio Rossi. Marzo 2003-Enero 2004. (Ver: <http://www.exa.unicen.edu.ar/~wetland/regwet/>)
- **Modelos Matemáticos para el Estudio de Humedales**, proyecto acreditado en el Programa de Incentivos (1999-2004). Dirección: Dra. G.A. Canziani.
- **Planificación estratégica de ecosistemas lacunares bonaerenses**, PICTO No. 13-11502 financiado por Convenio UNCPBA-ANPCyT (2004-2007) Dirección: Mgr. Fabián Grosman.
- **Metodología Integrada para el Diagnóstico y Gestión de Ecosistemas Acuáticos Lénticos**, proyecto acreditado en el Programa de Incentivos (2003-2005). Dirección: Dra. G.A. Canziani. Co-dirección: Mgr. Fabián Grosman (Fac. Cs. Veterinarias).
- **Proyecto IBERAQUA: "Impacto de las variaciones del nivel freático en la biodiversidad de los humedales del Iberá (Argentina)"**, (2006-2008), proyecto financiado por la Fundación

BBVA (España), con la participación de investigadores de las Universidades de Cádiz, Buenos Aires, Siena y Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, y del CECOAL (CONICET). Coordinación: Dr. Andrés Cózar (U. Cádiz).

- **"Programa de Investigación sobre Ecosistemas Acuáticos Continentales"**, (2006-2009) programa acreditado en el Programa de Incentivos (03/C 181). Dirección del programa: Dra. G.A. Canziani. Está integrado por los tres proyectos:
 - Proyecto I: *Uso responsable de ecosistemas acuáticos pampeanos a través del conocimiento de patrones estructurales y funcionales.* Director: MV Pablo Sanzano.
 - Proyecto II: *Análisis de ecosistemas acuáticos continentales utilizando modelación matemática.* Directora: Ing. Rosana Ferrati
 - Proyecto III: *Impacto de las variaciones del nivel de agua sobre la biodiversidad de los humedales del Iberá.* Directora: Dra. G.A. Canziani
- **"Ganadería, Ñandúes y Pago por Servicios Ambientales: modelo pampeano para la crisis alimentaria y ambiental"** (2008-2009) presentado en el Programa de Incentivos (SPU). (Director: Fernando Milano). Dentro de éste se aprobó el proyecto: *"Pago a productores por el mejoramiento de ecoservicios: convirtiendo problemas en soluciones"* (2008-2009).
- **"Desarrollo y evaluación de un simulador dinámico clima-dependiente de empresas ganaderas de base pastoril"** (2006-2008). Facultad de Ciencias Veterinarias. UNCPBA. Director: Dr. Claudio Machado. (03/H200).

El Grupo de Ecología Matemática y el Grupo de Estadística del Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable integran también las siguientes redes:

Redes	Centros que las integran
Red Interinstitucional de Modelación de Sistemas Agropecuarios de la Región Buenos Aires Sur (MODASUR).	UNMdP (Fac. de Agronomía), UNCPBA (Fac. Cs. Exactas y Fac. Cs. Veterinarias, INTA, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA) y el Instituto de Promoción de la Carne Vacuna de la Argentina (IPCVA).
Red de Monitoreo de Humedales y Lagunas (REMHUL)	IADO (CONICET), UNS, Ecosistemas-UNCPBA, CIMA-FCE-UNLP, FCEN-UBA, INIBIOMA-UNC, INTECH-UNSAM, Fundación Vaino Auer, Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Subsecretaría de Recursos Naturales de la Nación, entre otros.
Red Iberaqua	Univ. de Cádiz (España), Univ. de Siena (Italia), Ecosistemas-UNCPBA, CECOAL-CONICET, FCEN-UBA.

ANEXO II

Publicaciones vinculadas a modelización resultantes de proyectos pasados

Revistas Internacionales con referato:

1. G.A. Canziani (1999). *A modelling approach to the understanding of very complex dynamics in a planktonic community*. In: C.Rossi, S. Bastianoni, A. Donati, N. Marchetini (Eds.), "Tempos in Science and Nature: Structures, Relations and Complexity", Annals of the New York Academy of Science 879:292-301.
2. P. Federico, G.A. Canziani. (2000) *Population Dynamics through metapopulation models: When do cyclic patterns appear?*. Seleta do XXII Congresso Nacional de Matematica Aplicada e Computacional (J.M. Balthazar, S.M. Gomes, A Sri Ranga, Eds.). Tendencias em Matematica Aplicada e Computacional 1(2):85-99. ISBN 85-86883-02-06
3. S. Loisselle, G. Canziani, C. Rossi, G. Sabio. (2001) *The use of systems analysis methods in the sustainable management of wetlands*. Hydrobiologia 458:191-200.
4. P. Federico; G. A. Canziani (2005). *Modeling the population dynamics of capybara Hydrochaeris hydrochaeris: A first step towards a management plan*. Ecological Modelling 186:111-121.
5. M. V. Simoy & G. A. Canziani (2005). *A stage-structured model with two time-steps for analyzing the population dynamics of Rhea americana under variable environmental conditions*. Natural Resource Modelling 18:215-233.
6. R. Ferrati, G.A. Canziani, D. Ruiz Moreno (2005). *Esteros del Ibera: Hydrometeorological and Hydrological Characterization*. Ecological Modelling 186:3-15.
7. R. Ferrati, G. A. Canziani (2005) *An Analysis of Water Level Dynamics in Esteros del Ibera Wetland*. Ecological Modelling 186:17-27.
8. Ferrati R., Vargas Russo M., Saavedra P., Canziani G.. (2006) *Aplicación de un Modelo de Red Neuronal para la Clasificación de Sistemas Lacunares Pampeanos*. Biología Acuática 22:111-117 (ISSN: 0326-1638).
9. Dukatz F., Ferrati R., Canziani G.. (2006) *Evaluación de Sistemas Lacunares Bonaerenses Mediante Imágenes Landsat TM*. Biología Acuática 22:95-101 (ISSN: 0326-1638).
10. Canziani, G.A.; R. Ferrati, C. Rossi, D. Ruiz Moreno, (2006) *The influence of climate and dam construction on the Ibera wetlands, Argentina*. Reg. Environ. Change 6 (4):181-191.
11. Canziani, G., Ferrati, R., Dukatz, F., Marinelli, C. (2007) *Artificial Neural Networks and Remote Sensing in the Analysis of the Dynamics of Highly Variable Shallow Lakes*. Mathematical Biosciences and Engineering, 5(4): 691-711. Special Issue honouring Thomas G. Hallam.
12. D. Ruiz Moreno; G. A. Canziani. (2008) *Effects of habitat quality on the dynamics of spatially explicit metapopulation models*. Actas de la Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, Argentina), Tomo XIV, 143:158.

Trabajo completo en Actas de Congresos:

1. G.A. Canziani (1996). *Modelos Matemáticos Continuos de Poblaciones Estructuradas Basados en el Individuo*. En: C.E. D'Attellis, E. Fernández Verdaguer (Eds.). Anales del

- Primer Coloquio Latinoamericano sobre Matemática Aplicada a la Industria y la Medicina. CLAMI. Buenos Aires, pg . 141-149.
2. Barradas, I.; G.A.Canziani (1997). *A Study on Persistence Under Density Dependent Disturbances*, Anales de la VII Reunión de Trabajo Sobre Procesamiento de la Información y Control. San Juan. pg. 797-802
 3. Ruiz Moreno, D.; Federico, P.; Canziani, G. (2001) *AC: Simulación Espacial de la Dinámica de una Población Sujeta a Perturbaciones*. Anales de la IX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control. Vol I, 240-245.
 4. R. Ferrati, D. Ruiz Moreno, A. Aubone, G. Canziani (2002). *Satellite Images as a Tool for Hydrodynamic Modelling*, International Symposium on Remote Sensing of Environment. (XXIX ISRSE), Buenos Aires, Ref. 4.11, en CD.
 5. D. Ruiz Moreno, P. Federico, G.A. Canziani (2002). *Population Dynamics Models Based on Cellular Automata that include Habitat Quality Indices defined through Remote Sensing*. International Symposium on Remote Sensing of Environment. (XXIX ISRSE), Buenos Aires, Ref. 8.53, en CD.
 6. R. Ferrati, C. Marinelli, F. Dukatz, R. Cepeda, G. Canziani (2007) *Categorización de cuerpos de agua según sus propiedades ópticas*. En: J. Reyén, L.F. Aguirre, M. Moraes R. (Eds.), Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales: Sostenibilidad a Múltiples Niveles y Escalas, Cochabamba, Bolivia. Vol. II:1108-1115.
 7. F. Dukatz, R. Ferrati (2007) *Sistematización del análisis y clasificación de cuerpos de agua según su permanencia mediante sensores remotos*. En: J. Reyén, L.F. Aguirre, M. Moraes R. (Eds.), Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales: Sostenibilidad a Múltiples Niveles y Escalas, Cochabamba, Bolivia. Vol. II:1102-1107.
 8. F. Grosman, P. Sanzano, O. Díaz, V. Colasurdo, R. Ferrati, F. Dukatz, G. Canziani (2007). *Lagunas de la Región Pampeana de Argentina: estructura y funcionamiento a partir de aspectos sociales, económicos, culturales y naturales*. En: J. Reyén, L.F. Aguirre, M. Moraes R. (Eds.), Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales: Sostenibilidad a Múltiples Niveles y Escalas, Cochabamba, Bolivia. Vol. II:1130-1137.
 9. Dukatz F., Ferrati R., Canziani G. Marinelli C., Cepeda R. (2007) *Sistematización del Análisis de la Evolución Espacial y Temporal de Ambientes Acuáticos en la Región Pampeana y Transferencia a Capas GIS*. XI CONFIBSIG. Memorias de la XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (XI CONFIBSIG) ISBN: 978-987-9285-33-6. Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (SIBSIG) y Universidad Nacional de Luján (UNLu), Buenos Aires, 29 al 31 de Mayo de 2007. Lujan, Argentina. Publicado en CD, sin paginado.
 10. Milano, F.A., Basualdo, A., Canziani, G., Ferrati, R., Maceira, N., Nogar G. (2007) *Pago por servicios ambientales a productores agropecuarios: primera aproximación para una experiencia piloto a nivel municipal*. IV Congreso Nacional Sobre Manejo de Pastizales Naturales - I Congreso del Mercosur Sobre Manejo de Pastizales Naturales, Villa Mercedes, San Luí, Argentina 9, 10 y 11 de Agosto de 2007. Trabajo completo en CD. 18 pgs.
 11. Milano, F.A., Bricker, A., Basualdo, A., Canziani, G., Espondaburu, P. Ferrati, R., Maceira, N., Martens, F., Nogar, G. (2007) *Pago a productores agropecuarios por el mejoramiento de ecoservicios: un mecanismo para promover el desarrollo rural, mejorar la producción agropecuaria, ahorrar gas y mejorar los servicios de los ecosistemas*. Iras Jornadas de Pequeñas Localidades Sobre Territorio, Historia y Ferrocarriles. Organizado por el Municipio de Nueve de Julio, Uniendo Pueblo (ONG) y por Patricios Unido de Pie

(ONG). Patricios, Ptdo. de 9 de Julio. 23 y 24 de noviembre de 2007. (On line: <http://www.uniendopueblo.com.ar/jornada2/ponencia.aspx>).

Capítulos de Libro

1. *Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos*, UNCPBA, G.A. Canziani, R. Ferrati, P. Federico, D. Ruiz Moreno, F. Castets, A. Canónica, M. Gandini, L. Moreno. (Parte II, Capítulo I) En: Canziani, G.; C. Rossi; S. Loiselle; R. Ferrati (Editores) 2003. *Los Esteros del Iberá. Informe del Proyecto “El Manejo Sustentable de Humedales en el Mercosur”*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina. Pgs. 75-82
2. *Caracterización Hidrometeorológica e Hidrológica del Sistema Iberá*, UNCPBA, R. Ferrati, G. Canziani, D. Ruiz Moreno, A. Aubone, M.C. Romero. (Parte II, Capítulo 2) En: Canziani, G.; C. Rossi; S. Loiselle; R. Ferrati (Editores) 2003. *Los Esteros del Iberá. Informe del Proyecto “El Manejo Sustentable de Humedales en el Mercosur”*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina. Pgs. 83-102.
3. *Modelo de la Dinámica Poblacional de Carpinchos (Hydrochaeris hydrochaeris) Incluyendo Cosecha*, UNCPBA, P. Federico, G. Canziani, F. Milano, A. Aubone. (Parte II, Capítulo 10) En: Canziani, G.; C. Rossi; S. Loiselle; R. Ferrati (Editores) 2003. *Los Esteros del Iberá. Informe del Proyecto “El Manejo Sustentable de Humedales en el Mercosur”*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina. Pgs.177-184.
4. *Modelos Metapoblacionales Espacialmente Explícitos*, UNCPBA, D. Ruiz Moreno, G. Canziani, P. Federico. (Parte II, Capítulo 12) En: Canziani, G.; C. Rossi; S. Loiselle; R. Ferrati (Editores) 2003. *Los Esteros del Iberá. Informe del Proyecto “El Manejo Sustentable de Humedales en el Mercosur”*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina. Pgs.195-206.
5. *Nuestros ojos en el cielo: Los satélites de aplicación científica* (2008) Dukatz, F. En: “Espejos en la llanura. Nuestras lagunas de la región pampeana”. Capítulo IX. (F. GROSMAN Compilador). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Pgs. 119-127
6. *Espiando lagunas con satélites. Los colores delatan su estructura* (2008) Ferrati, R., Cepeda, R., Marinelli, C., Dukatz, F., Canziani, G. En: “Espejos en la llanura. Nuestras lagunas de la región pampeana”. Capítulo X. (F. GROSMAN Compilador). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Pgs. 129-138.
7. *Monitoring shallow lakes in the Pampas* (2009). Dukatz F., Ferrati R., Marinelli C., Cepeda R., Canziani G. En P.K. Joshi (Ed.) “*Geoinformatics for Natural Resource Management*”. NOVA Science Publishers, Inc., New York (En prensa).