

# “Neurodinámica”

## Proyecto de Investigación en Matemática

Eleonora Catsigeras

Proyecto de Investigación  
que se presenta a la convocatoria del

“Premio Nacional  
L’OREAL - UNESCO 2014  
con el apoyo del MEC- DICYT”  
“POR LAS MUJERES EN LA CIENCIA”

*A la memoria de nuestro querido maestro,  
matemático de excelencia  
y persona excepcional:*

*Prof. Dr. Jorge Lewowicz  
17-marzo-1937 --- 22-junio-2014*

*“Todos alabamos la belleza del árbol; todos elogiamos el encanto de la flor;  
todos saboreamos el fruto maduro; ...  
y pocos, muy pocos, se acuerdan de la raíz que trabaja en profundidad...  
Eso ocurre con la ciencia pura y la ciencia aplicada.”*

Clemente Estable

# **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “NEURODINÁMICA”**

*Eleonora Catsigeras*

*10 de junio de 2014*

## **1. DATOS DEL PROYECTO**

### **1.1. Título, fecha de inicio y datos del proyecto de investigación en ejecución**

Título del proyecto: NEURODINÁMICA  
Fecha de inicio: Febrero de 2013      Responsable científica: Eleonora Catsigeras  
Datos del Grupo de Investigación:  
Registrado en Com. Sectorial de Investigación Científica la U. de la R (CSIC), Equipo N° 527  
“Rama Interdisciplinaria - Equipo Jorge Lewowicz<sup>1</sup>”  
Página Web: <http://darwin.csic.edu.uy/grupos/grupos?tipo=unover&id=527>

### **1.2. Título y datos del proyecto que se postula**

Título del proyecto: NEURODINÁMICA  
Responsable científica: Eleonora Catsigeras  
Área: Ciencias Naturales y Exactas - Disciplina principal: Matemática  
Subdisciplinas: Sistemas Dinámicos, Teoría Ergódica, Neurodinámica  
Duración de la investigación (a partir del comienzo de la eventual financiación del proyecto): 24 meses.

## **2. DATOS INSTITUCIONALES**

### **2.1 Institución principal**

Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Instituto de Matemática y Estadística “Rafael Laguardia” (IMERL) Av. Herrera y Reissig 565 . C.P. 11300 Montevideo Tele-fax 2711-0621

### **2.2 Nombres de instituciones con participación prevista**

Universidad de la República - Facultad de Ingeniería - Institutos de Física y de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de la República- Facultad de Ciencias  
Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable  
Universidad de la República - Regional Norte (Dptos Artigas, Salto y Paysandú)

## **3. INFRAESTRUCTURA ACTUALMENTE DISPONIBLE**

### **3.1 Infraestructura locativa, mobiliario y equipo de computación.**

Espacio físico total aprox. 300 m<sup>2</sup>.  
Salas de investigadores (con pizarrones y computadoras fijas, además del mobiliario de oficina)  
Sala de seminarios y conferencias (con varios pizarrones, computadora fija, cañón proyector y pantalla, además del mobiliario para hasta 30 asistentes)  
Impresora láser y dos impresoras inyectoras de tinta (una a color).  
Sala para científicos visitantes

### **3.2 Acceso a infraestructura locativa adicional**

Acceso a salas de conferencias de la Facultad de Ingeniería con capacidad de hasta 300 asistentes  
Acceso a sala de teleconferencias de la Facultad de Ingeniería (UdelaR) en Montevideo y en la Regional Norte (UdelaR) en Salto, con equipamiento completo y capacidad para más de 30 asistentes en ambas terminales.

### **3.3 Infraestructura bibliográfica**

Biblioteca de Matemática especializada (IMERL-CMAT- Facs. Ingeniería y Ciencias, UdelaR- Pedeciba)  
Biblioteca de Ingeniería Eléctrica especializada (IIE- Fac, Ingeniería, UdelaR)  
Biblioteca de Física especializada (IF- Facs. Ingeniería y Ciencias-UdelaR - Pedeciba)  
Acceso digital local y remoto a las colecciones de revistas científicas del portal TIMBÓ (SNI - ANII)

### **3.4. Software específico (además del software general)**

Software para generar videos de presentaciones y conferencias  
Software editor de textos profesionales de Matemática y otros (Matlab-Maple-etc) específicos para tareas matemáticas-simulación numérica-cálculos algorítmicos, etc.

---

1 <http://imerl.fing.edu.uy/ssd/integrantes/gente/JorgeL.htm>

## 5. GRADO DE AVANCE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN YA EN EJECUCIÓN

(desde su inicio en febrero de 2013 hasta la fecha de esta postulación, junio de 2014)

### 5.1 Los objetivos específicos del proyecto en ejecución son principalmente dos:

A) responder (i.e. enunciar teoremas, demostrarlos, o refutar proposiciones exhibiendo contraejemplos) una batería de preguntas matemáticas abiertas sobre la dinámica global de las redes neuronales naturales o artificiales,

B) introducir a varios jóvenes estudiantes a la investigación matemática abstracta de modelos de la Neurodinámica, y contribuir así a formar futuros investigadores en el tema.

5.2 *El avance en el objetivo A* fue importante durante los 16 meses que lleva el proyecto en ejecución. Se refleja en los resultados obtenidos en Matemática, resumidos en las primeras cuatro filas de la Tabla I., y en los resultados relacionados en Neurociencias, Física e Ingeniería, obtenidos por los investigadores integrantes del equipo científico de este proyecto (últimas cinco filas de la Tabla I). Todos estos resultados ya logrados nos permiten formular nuevas preguntas a estudiar (ver Tabla II, pág. 4 de este documento). Aspiramos investigar esa nueva lista de preguntas abiertas como continuación del proyecto de investigación ya iniciado.

5.3 *El avance en el objetivo B* es promisorio. Se ha organizado en el Instituto de Matemática de la Fac. de Ingeniería (UdelaR) el Seminario de Neurodinámica para estudiantes, con temas de estudio de la Matemática Pura, originados en la dinámica de redes neuronales. Este seminario está sesionando desde abril de 2014 como parte del programa de la Maestría en Ingeniería Matemática de la UdelaR:

<http://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2014/10589/Neurodin%C3%A1mica%282014%29.pdf>

El Seminario en Neurodinámica en curso ha permitido incorporar a nuestro grupo de investigación varios ayudantes jóvenes, egresados realizando sus posgrados en Matemática o Física, y estudiantes avanzados de grado en Matemática o Ingeniería. Se espera en el futuro que este seminario funcione en coordinación con el Seminario en Neurociencias.

**TABLA I**

RESULTADOS OBTENIDOS entre febrero de 2013 y junio de 2014	Publica- do en <sup>2</sup>
PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DE SISTEMAS DINÁMICOS ABSTRACTOS EN DIMENSIÓN FINITA, EQUILIBRIO ESTADÍSTICO (FÓRMULA DE PESIN), MEDIDAS PSEUDOFÍSICAS, SISTEMAS CON DESCOMPOSICIÓN DOMINADA.	[8]
PROPIEDADES DE EXPANSIVIDAD Y N-EXPANSIVIDAD TOPOLÓGICA DE SISTEMAS DINÁMICOS EN VARIEDADES COMPACTAS Y NO COMPACTAS.	[1] [12] [14] [15] [16]
SINCRONIZACIÓN Y ENTROPÍA DE REDES NEURONALES EXCITATORIAS (O COOPERATIVAS). GENERICIDAD DE ATRACTORES PERIÓDICOS EN REDES NEURONALES INHIBITORIAS DE GRAFO COMPLETO.	[6] [11]
EL PRINCIPIO DE DALE <sup>3</sup> COMO CONSECUENCIA MATEMÁTICA DE LA OPTIMIZACIÓN DINÁMICA DE LA RED	[7]
ACTIVIDAD NEURONAL ELECTRO-SENSORIAL: PATRONES MOTORES, EFICIENCIA Y GANANCIA DE INFORMACIÓN, UBICACIÓN E IMAGEN ELECTRO-SENSORIAL.	[10] [4]
INGENIERÍA DE DISEÑO DE INTERFAZ ELECTRÓNICA DE TRASDUCTORES SENSORIALES	[2]
DINÁMICA DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS AUTÓNOMOS: PROPIEDADES DE PERIODICIDAD Y ALTERNANCIA ENTRE ATRACTORES CAÓTICOS Y PERIÓDICOS. ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO EN LA DINÁMICA SIMBÓLICA DE OSCILADORES ACOPLADOS.	[3] [9]
IMÁGENES ELECTRO-SENSORIALES OBTENIDAS DE DATOS NEUROFISIOLÓGICOS Y ACTIVIDAD ELECTRO-RECEPTIVA EN LA IDENTIFICACIÓN DE OBJETOS.	[5]
DINÁMICA DEL DESARROLLO DE LAS REGIONES DEL CEREBRO RELACIONADAS CON EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN ELECTRO-SENSORIAL (EN LA ESPECIE GYMNOTUS OMARORUM), DESDE EL NACIMIENTO HASTA LA EDAD ADULTA DEL INDIVIDUO.	[13]

2 Los números ente corchetes corresponden a las publicaciones respectivas de la lista de *Referencias Bibliográficas* al final de este documento.

3 El principio de Dale en Neurociencias establece que cada neurona (biológica) envía el mismo conjunto de neurotransmisores a las otras neuronas que están conectadas sinápticamente con ella (Strata&Harvey: "Dale's Principle" Brain Research Bulletin, Vol. 50, No. 5-6, 1999, pp. 349-350)

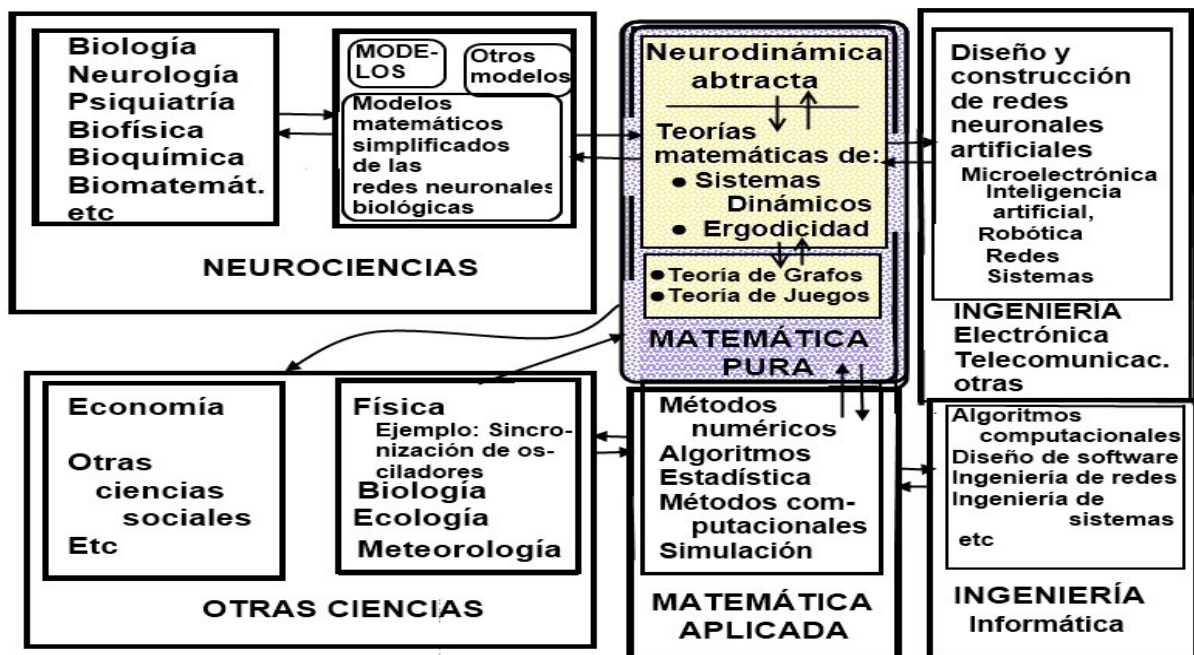
## 6. RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN QUE SE PROPONE REALIZAR

### 6.1 ¿QUÉ SE PROPONE INVESTIGAR Y POR QUÉ?

6.1.1 Se aspira continuar investigando en la dinámica teórica de **modelos matemáticos abstractos de redes neuronales naturales o artificiales**, modelos estos provenientes/aplicables de/a:

- la Neurociencia (por ejemplo: modelos matemáticos simplificados de sub-redes neuronales biológicas)
- la Física No Lineal (por ejemplo: problemas matemáticos que aparecen en el estudio de sincronización de redes de osciladores acoplados por luz, y otras redes de unidades dinámicas acopladas en fenómenos físicos),
- la Ingeniería (problemas y propiedades matemáticas que quizás sean útiles en el futuro diseño, mejora y construcción de redes neuronales artificiales, por ejemplo en la ingeniería de control de sistemas complejos).

6.1.2 **El objeto general de investigación** está esquematizado en la Figura 1. Corresponde a problemas abiertos (es decir, cuya solución aún se desconoce) de la **Matemática Pura**.



**FIGURA 1:** El cuadro en color corresponde a lo que se propone investigar principalmente en este proyecto. Los otros cuadros esquematizan el **escenario científico** en el cual los objetos y teorías abstractos de investigación de este proyecto están inmersos. (En la figura se omitieron la mayoría de las relaciones mutuas entre las diferentes áreas del conocimiento involucradas.)

6.1.3. **Los temas de la Matemática Pura comprendidos en la investigación** que se propone son:

- Teoría (matemática abstracta) de los Sistemas Dinámicos: por ej. atractores, caos, bifurcaciones, etc,
  - Teoría Ergódica: por ej. existencia y propiedades de medidas abstractas, entropía métrica y topológica y/o cantidad de información que la red puede procesar o generar, medidas físicas o pseudo-físicas, etc;
- y secundariamente:
- Teoría de Grafos: por ej. dependencia del comportamiento dinámico según la topología del grafo de interacciones mutuas entre las celdas de la red,
  - Teoría de Juegos: por ej. interpretación de resultados de redes neuronales excitatorias/inhedoratorias como dinámica resultante de juego entre muchos actores cooperativos/antagonistas.

6.1.4. **Los objetivos específicos de este proyecto de investigación** son principalmente dos:

**A)** descubrir respuestas rigurosas matemáticas y sus demostraciones a algunas de las **preguntas abiertas** que se encuentran en la frontera del conocimiento matemático hoy en día (ver Tabla II en pág.4);

**B)** introducir a la investigación a varios jóvenes estudiantes. Se aspira contribuir a **formar futuros científicos** que den continuidad a largo plazo al equipo de investigación matemática en Neurodinámica, en cooperación con otros grupos de investigación en diferentes disciplinas.

## 6.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

*El método general* es el usual en la Matemática Pura. Consiste en la búsqueda de argumentos de deducción rigurosa y exacta, a partir de la hipótesis (que habrá que investigar también) y como consecuencia de teoremas ya conocidos y demostrados antes. Está basado en la lógica clásica. Sin embargo el método de búsqueda de esos argumentos, es de naturaleza epistemológica diferente al proceso de demostración en sí mismo, más parecido a una tarea de creación que a una de descubrimiento.

*El método particular* para llevar a cabo esta investigación está reflejado en el plan de actividades siguiente:

### 6.3 PLAN Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

PLAN DE ACTIVIDADES	
A.	Estudio de bibliografía y artículos recientes en los temas objeto de investigación.
B.	Reuniones de trabajo en la disciplina principal, interdisciplinarias y con científicos invitados del exterior.
C.	Actualización de equipamiento y materiales (bibliográficos, de computación, accesorios, fungibles, etc).
D.	Organización y realización de seminarios para estudiantes y propuesta de temas de tesis y monografías.
E.	Trabajo en sala de investigadores con los estudiantes ayudantes y asistentes: creación y discusión matemática sobre conjeturas, resultados parciales, intentos de demostraciones, formalización de pruebas deductivas, ejemplos y contraejemplos de refutación, etc
F.	Exposición y discusión de resultados parciales y finales en seminarios de investigadores-estudiantes.
G.	Pasantías cortas en centros de investigación del exterior, asistencia a congresos y eventos.
H.	Concreción y difusión: preparación de pre-publicaciones y sometimiento a revistas científicas arbitradas

ACTIVIDADES	CRONOGRAMA - Meses							
	01-03	04-06	07-09	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24
A B C	A B C	A B C	A B	B	C	B C	A B	
D E G	D E	D E	D E	E G	E G	D E	D E	E
F H				F	F	F H	F H	F H

### 6.4 LUGAR

La mayor parte de las actividades se localizarán en las instalaciones de las dependencias en la ciudad de Montevideo de la Univ. de la República que son partipantes de este proyecto (ver ítem 2, pág. 1) . Otras se realizarán en instalaciones de la Regional Norte de la Univ. de la República (Dptos. de Artigas, Salto y/o Paysandú). Las pasantías y asistencia a congresos y eventos, se realizarán mayormente en el exterior.

### ANEXO

**TABLA II** (Corresponde al ítem 6.1.4 A)

ALGUNAS PREGUNTAS MATEMÁTICAS ABIERTAS EN NEURODINÁMICA (Sus respuestas son desconocidas hoy en día)	
¿Qué estructura de grafo (además del grafo completo) pueden tener las redes neuronales con gran cantidad de celdas y gran diversidad de estas, y con interacciones excitatorias o cooperativas impulsivas, para exhibir necesariamente subgrafos (sub-redes) con sincronización global de eventos?	¿Exhiben necesariamente sub-grafos sincronizados globalmente las redes neuronales cooperativas con gran cantidad de celdas bajo la hipótesis de red del tipo "small world"? (Ejemplo no biológico: ciertos núcleos de las redes sociales globalizadas de la web)
Si una red o sub-red neuronal exhibe sincronización global de eventos, ¿minimiza la vulnerabilidad de cada celda frente a acciones negativas adversas externas a la red que provocan cambios súbitos del estado instantáneo de algunas celdas?	¿Puede una red con suficientes interacciones inhibitorias o competitivas tener alta entropía y al mismo tiempo ser estructuralmente estable?
¿Cuál es la estructura topológica y medible genérica de los atractores en los sistemas dinámicos abstractos generales que modelan redes neuronales?	¿Cuáles son en general todas las bifurcaciones que puede presentar una familia genérica de sistemas de redes neuronales con una cantidad finita de parámetros reales?
Las interacciones sinápticas provocan que el sistema sea discontinuo. Cada discontinuidad actúa como un punto con expansión infinita que podría, a priori, compensar la contractividad proveniente de una hipótesis de disipación. Entonces, ¿puede una red con celdas disipativas ser un sistema expansivo?	¿Qué relación existe entre la dinámica de redes neuronales disipativas, con cualquier signo de interacciones, las medidas invariantes físicas o pseudofísicas y los teoremas abstractos de dinámica estadística?

## **EQUIPO HUMANO EN EL PROYECTO QUE SE POSTULA**

### **INTEGRANTES DEL EQUIPO**

(enlaces a C.V. y datos de contacto al final de este documento)

	ROL EN EL PROYECTO	Hs./sem. Inst./Proy.	NOMBRE Y APELLIDO	ESPECIALIZACIÓN (si es investigador) FORMACIÓN y GRADO
1	Directora de Investigación del Proyecto (i.e.Responsable Científica) e Investigadora	DT <sup>4</sup> 30	Eleonora Catsigeras Año sabático previsto para dedicación exclusiva a la investigación: agosto 2015- julio 2016	Doctora en Ciencias (esp. Matemática). Investigadora en Sistemas Dinámicos-Teoría Ergódica - Neurodinámica. Magister y Licenciada en Matemática e Ingeniera (opción Electrónica). Profesora grado 4 de Matemática en la Facultad de Ingeniería- UdelaR. Investigadora Nivel 2 del SNI-ANII (Curriculum impreso adjunto a este documento)
2	Investigadora	DT 10	Cecilia Cabeza	Doctora en Física Investigadora en Física Experimental y Aplicada, Sistemas No Lineales - Mecánica Estadística. Profesora grado 4 de Física en la Facultad de Ciencias - UdelaR. Investigadora Nivel 2 del SNI-ANII
3	Investigador	DT 10	Arturo Martí	Doctor en Ciencias Físicas, Licenciado en Física. Profesor Agregado (grado 4) con DT del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias. Especialización: Física No Lineal. Investigador Nivel 2 del SNI-ANII.
4	Investigador	DT 5	Leonardo Barboni	Doctor en Ingeniería. Investigador en Microelectrónica. Profesor grado 3 del Dep. de Electrónica en la Facultad de Ingeniería - UdelaR. Investigador Nivel 1 del SNI-ANII
5	Investigador	DT 5	Leonel Gómez Sena	Doctor en Biología - opción Neurociencias y Magíster en Biología. (Fac. Ciencias UdelaR- Pedeciba). Médico Psiquiatra. Profesor Grado 3, 40 horas con DT del Dpto de Biomatemática, Facultad de Ciencias. En 2009-2013: Investigador Nivel 1 del SNI-ANII
6	Investigadora	DT 5	María E. Castelló Gómez	Doctora en Biología- opción Neurociencias y Magister en Biología (Fac. Ciencias UdelaR - Pedeciba), Investigadora Grado 3, 40 horas con DT, del Dpto de Neurociencias Integrativas y Computacionales del IIBCE. De 2009 a 2012 Investigador nivel 1 SNI-ANII
7	Investigador	DT 20	Jorge Groisman	Doctor en Matemática. Investigador en Sistemas Dinámicos-Expansivos. Profesor grado 3 de Matemática en la Fac.Ingeniería - UdelaR. Investigador Nivel 1 SNI-ANII
8	Investigadora	DT 5	Mariana Pereira López	Doctora. en Matemática. Investigadora en Álgebra y Matemática Discreta. Profesora grado 3 de Matemática en la Facultad de Ingeniería - UdelaR. Investigadora Nivel 1 del SNI-ANII.
9	Investigador	40 20	Marcelo Cerminara	Profesor Grado 3 del IMERL, Fac. Ing, UdelaR (40 horas/sem.) y Profesor Grado 4 del Dpto de Métodos Cuantitativos, Fac. Ciencias Económicas, UdelaR (20 horas/sen.). Varios artículos de investigación publicados en revistas arbitradas internacionales de alto nivel. Especialización: Sistemas Dinámicos, Teoría Ergódica-Bifurcaciones
10	Investigadora	-- 5	Carolina Pereira Larronde	Magister en Biología-opción Neurociencias.(fac. Ciencias,UdelaR-Pedeciba) Licenciada en Ciencias Biológicas (Fac. Ciencias), Profesora de Educación Media-opción Física (IPA)- Posgraduando en el Doctorado en Ciencias Biológicas-opción Neurociencias (Pedeciba) último año - Candidata a investigador del SNI (2009-2013) .Varios artículos de investigación publicados en revistas arbitradas internacionales de alto nivel.
11	Investigador	DT 10	Artigue, Alfonso	Magister en Matemática (Fac. Ciencias, UdelaR, Pedeciba), (sistemas dinámicos expansivos) y Licenciado en Matemática (Fac. Ciencias, UdelaR) Posgraduando en Doctorado en Matemática (Fac. Ciencias, UdelaR-Pedeciba): etapa final de tesis. Varios artículos publicados en revistas arbitradas intern. de alto nivel. Docente grado 2 - DT del Depto de Mat. y Estad. del Litoral (Reg.Norte, UdelaR).

<sup>4</sup> DT: el régimen de Dedicación Total de los profesores de la Universidad de la República es dedicación exclusiva a la Institución, mayor o igual a 40 horas semanales, con independencia de la cantidad de horas nominales del cargo ejercido.

12	Investigador	30	5	Alejo Rodríguez-Cattáneo	Magister en Neurociencias (Fac. Ciencias, Udelar - Pedeciba), Licenciado en Ciencias Biológicas Posgraduando en el Doctorado en Neurociencias (Pedeciba), 3er. año. Investigador contratado grado 2 del IIBCE, 30 hs.sem. Candidato a investigador SNI-ANII (2009-2013) Varios artículos publicados en revistas arbitradas internacionales de alto nivel.
13	Ayudante de investigación	20	10	Florencia Cubría	Licenciada en Matemática. Docente grado 1 de Matemática en la Facultad de Ciencias - Udelar
14	Ayudante de investigación	20	10	Gonzalo de Polsi	Licenciado en Física - Posgraduando en la Maestría en Física Especialización: Redes neuronales en sistemas biológicos. Docente grado 1 de Física en la Facultad de Ciencias - Udelar
15	Ayudante de investigación	20	10	Pilar Lorenzo	Licenciada en Matemática - Posgraduando en la Maestría en Matemática. Docente grado 1 de Matemática en la Facultad de Ingeniería - Udelar
16	Ayudante de investigación	20	5	Cecilia Mezzera Ferrère	Estudiante avanzada de la Licenciatura en Matemática (egreso previsto Julio 2014) Docente grado 1 de Matemática en la Facultad de Ingeniería - Udelar
17	Ayudante de investigación	38	5	Horacio Lena	Estudiante avanzado de la Licenciatura en Matemática - Docente grado 2 de Matemática en el Departamento de Economía de la Facultad de Ciencias Sociales - Udelar
18	Ayudante de investigación	20	5	Santiago Martinchich	Estudiante avanzado de la Licenciatura en Matemática- Docente grado 1 de Matemática en la Fac. de Ciencias-Udelar
19	Ayudante de investigación	40	5	Agustín López de Lacalle	Estudiante avanzado de Ingeniería Mecánica - Docente grado 1 de Matemática y Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental en la Facultad de Ingeniería - Udelar
20	Ayudante de investigación	20	5	Mauro Martínez	Estudiante avanzado de Ingeniería Eléctrica. Docente grado 1 de Matemática en la Facultad de Ingeniería - Udelar
21	Ayudante de investigación	--	10	Victoria García Tejera	Estudiante avanzada de la Licenciatura en Matemática.

***CIENTÍFICOS CONSULTORES Y/O COLABORADORES EXTERNOS AL EQUIPO***  
(enlaces a C.V y datos de contacto al final de este documento)

	ROL EN EL PROYECTO	NOMBRE Y APELLIDO	ESPECIALIZACIÓN y FILIACIÓN INSTITUCIONAL
1	Científico e investigador, profesor consultor y colaborador	Ruben Budelli	Doctor en Fisiología (UNAM-1985), Licenciado en Física (Udelar- 1973), Postdoctorado University of California . Profesor co-fundador de la rama interdisciplinaria del Grupo de Sistemas Dinámicos, Profesor Grado 5, 40 horas + DT, Instituto de Biología, Científico responsable de la Sección Neurociencias y Dpto de Biomatemática, Fac. de Ciencias, Udelar. Investigador Nivel 3 del SNI-ANII
2	Científico e investigador consultor y colaborador	Ángel Caputi	Doctor en Ciencias, y Doctor en Medicina. Especialista en Neurología. Neurocientífico Investigador Nivel 1 del Pedeciba, Profesor y orientador de tesis de Doctorado y Maestría del Pedeciba. Investigador Grado 5 Jefe del Departamento de Neurociencias Integrativas y Computacionales, Instituto Investigaciones Biológicas Clemente Estable. Investigador Nivel 3 del SNI-ANII
3	Científico e investigador consultor y colaborador	José Vieitez	Doctor en Matemática. Investigador en Sistemas Dinámicos- Expansividad.. Profesor Titular (grado 5) de Matemática y Director de la Regional Norte de la Udelar (Paysandú, Artigas y Salto). Ex director del Instituto de Matemática y Estadística "Rafael Laguardia". Investigador Nivel 2 del SNI-ANII.
4	Científico e investigador consultor y colaborador	Heber Enrich	Doctor en Matemática. Investigador en Sistemas Dinámicos-Teoría Ergódica. Ex-Profesor (jubilado) grado 4 de Matemática en la Facultad de Ingeniería- Udelar Ex director del Instituto de Matemática y Estadística "Rafael Laguardia".

**DATOS DE CONTACTO Y C.V. DE INTEGRANTES DEL EQUIPO**

	NOMBRE Y APELLIDO	C.I.	DIRECCIÓN DE CONTACTO	C.V.
1	Eleonora Catsigeras	1.386.599-2	eleonora@fing.edu.uy	<a href="#">pdf</a> <a href="#">sni-anii</a>
2	Cecilia Cabeza	1.676.285-0	cecilia@fisica.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
3	Arturo Martí	1.935.157-9	arturomarti@fisica.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
4	Leonardo Barboni	2.000.515-3	lbarboni@fing.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
5	Leonel Gómez Sena	1.744.660-1	leonel@fcien.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
6	María E. Castelló Gómez	1.555.560-0	mcastello@iibce.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
7	Jorge Groisman	1.737.814-5	jorgeg@fing.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
8	Mariana Pereira López	3.311.236-7	maripere@fing.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
9	Marcelo Cerminara	1.786.232-0	cerminar@fing.edu.uy	<a href="#">pdf</a> <a href="#">semSisDin</a>
10	Carolina Pereira Larronde	3 079 494-8	cpereira@iibce.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
11	Alfonso Artigue	3.912.395-6	artigue@unorte.edu.uy	<a href="#">pdf</a>
12	Alejo Rodríguez-Cattáneo	3 883 274-8	arodriguez@iibce.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
13	Florencia Cubría	3.418.832-9	fcubria@cmat.edu.uy	<a href="#">pdf</a>
14	Gonzalo de Polsi	4.542.671-0	gdepolsi@fisica.edu.uy	<a href="#">pdf</a>
15	Pilar Lorenzo	3.974.637-6	plorenzo@fing.edu.uy	<a href="#">pdf</a>
16	Cecilia Mezzera Ferrère	4.260.672-1	cecile.mezzera@gmail.com	<a href="#">pdf</a>
17	Horacio Lena	3.946.961-3	horacio.lena@cienciassociales.edu.uy	
18	Santiago Martinchich	4.361.143-0	smartinchich@cmat.edu.uy	<a href="#">pdf</a>
19	Agustín López de Lacalle	4.532.453-8	agustinl@fing.edu.uy	<a href="#">pdf</a>
20	Mauro Martínez	4.755.540-2	maumart@fing.edu.uy	<a href="#">pdf</a>
21	Victoria García Tejera	4.683.288-5	victoriagarciatejera@gmail.com	<a href="#">pdf</a>

**DATOS DE CONTACTO Y C.V. DE CIENTÍFICOS CONSULTORES Y/O COLABORADORES EN EL PROYECTO QUE SE POSTULA**

	NOMBRE Y APELLIDO	C.I.	DIRECCIÓN DE CONTACTO	C.V.
1	Ruben Budelli	877 851-6	rbudelli@gmail.com	<a href="#">sni-anii</a>
2	Ángel Caputi	2.963.906.-2	acaputi@iibce.edu.uy	<a href="#">scholar-g</a> <a href="#">sni-anii</a>
3	José Vieitez	990.326-9	jvieitez@fing.edu.uy	<a href="#">sni-anii</a>
4	Heber Enrich	1.274.308-6	enrich@fing.edu.uy	<a href="#">pdf</a>

Siguen Referencias Bibliográficas y Hojas de Firmas

## Referencias bibliográficas

Corresponden a las citas del *ítem 5.2* y de la *Tabla I* de este documento. Se marcan en azul los autores que integran el equipo de investigadores y colaboradores en este proyecto. Se incluyen enlaces a las páginas web de cada artículo.

- [1] **ARTIGUE, A, PACÍFICO, M.J, VIEITEZ, J.L.:** *N-expansive homeomorphisms on surfaces.* [arXiv:1311.5505v1 \[math.DS\]](#) Prepublicación CORNELL UNIVERSITY LIBRARY 2013
- [2] **BARBONI, L., VALLE, M.:** *POSFET touch sensing transducers: interface electronics design methodology based on the transconductance-to-drain-current efficiency gm/ID.* Sensors and Actuators A: Physical, vol: 201, pp. 377-386, DOI: [10.1016/j.sna.2013.07.029](#) ELSEVIER 2013
- [3] **CABEZA, C.; MARTÍ, A.; GALLAS, J., & Cols.:** *Periodicity hubs and wide spirals in a two-component autonomous electronic circuit.* Chaos, Solintors & Fractals, Vol. 52 pp. 59-65, ELSEVIER 2013 DOI: [10.1016/j.chaos.2013.04.001](#)
- [4] **Cols & CAPUTI, A.; BUDELLI, R.:** *Electric imaging through active electrolocation: implication for the analysis of complex scenes.* Biological Cybernetics Vol. 98 pp 519-539 DOI: [10.1007/s00422-008-0213-5](#) SPRINGER, 2008<sup>5</sup>
- [5] **CAPUTI, A.; AGUILERA, P.; PEREIRA LARRONDE, C., RODRÍGUEZ-CATTÁNEO, A.:** *On the haptic nature of active electric sense of fish.* Brain Research Vol. 1536, pp. 27-43, ELSEVIER 2013 DOI: [10.1016/j.brainres.2013.05.028](#)
- [6] **CATSIGERAS, E.:** *Dynamics of large cooperative pulsed-coupled networks* Journal of Dynamics and Games ISSN 21646066, Vol. 1, Num. 2. pp.:255 - 281 DOI: [10.3934/jdg.2014.1.255](#) AIMS 2014
- [7] **CATSIGERAS, E.:** *Dale's Principle is necessary for an optimal neuronal network's dynamics* Applied Mathematics (Irvine), Vol.:4, Num. 10B, p.: 15 - 29, ISSN: 21527385 ; DOI: [10.4236/am.2013.410A2002](#) SCIRP 2013
- [8] **CERMINARA, M.; ENRICH, H. CATSIGERAS, E.:** *Pesin's Entropy Formula for C1 Diffeomorphisms with Dominated Splitting* Ergodic Theory and Dynamical Systems, ISSN: 01433857, DOI: [10.1017/etds.2013.93](#) CAMBRIDGE Univ. Press 2014
- [9] **DE POLSI, G.; CABEZA, C.; MARTÍ, A.; MASOLLER, C.:** *Characterizing the dynamics of coupled pendulums via symbolic time series analysis.* European Physics Journal, vol. 222, pp 501-510, DOI: [10.1140/epjst/e2013-01855-6](#) SPRINGER 2013
- [10] **Cols & GÓMEZ-SENA, L.:** *Motor patterns during active electrosensory acquisition .* Frontiers in Behavioral Neuroscience Vol. 28, DOI: [10.3389/fnbeh.2014.00186](#). Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) 2014
- [11] **GUIRAUD, P., CATSIGERAS, E.:** *Integrate and Fire Neural Networks, Piecewise Contractive Maps and Limit Cycles.* Journal of Mathematical Biology, Vol. 67 Issue 3 p.: 609-655, 2013 ISSN: 03036812 SPRINGER 2013 DOI: [10.1007/s00285-012-0560-7](#)
- [12] **GROISMAN, J., VIEITEZ, J.:** *On transitive expansive homeomorphisms of the plane.* [PreMat 167/2014](#) Prepublicación de Matemática, UDELAR 2014
- [13] **IRIBARNE, L.; CASTELLÓ, M.E.:** *Postnatal brain development of the pulse type, weakly electric gymnotid fish *Gymnotus omarorum** Journal of Physiology - Paris DOI: [10.1016/j.jphysparis.2014.05.001](#), ELSEVIER 2014
- [14] **LEWOWICZ, J.:** *Expansive homeomorphisms of surfaces.* Boletim da Soc. Brasileira Matemática Vol. 20, pp 113-133, DOI: [10.1007/BF02585472](#) SPRINGER 1989<sup>5</sup>
- [15] **LEWOWICZ, J., CERMINARA, M.:** *Some Open Problems Concerning Expansive Systems* Rendiconti dell'Istituto di matematica dell'Univesità di Trieste Vol. 42, pp. 129-141 EDIZIONI UNIV. DI TRIESTE 2010<sup>5</sup> DOI: [10077/3887](#)
- [16] **LORENZO, P.** (Orientador: **GROISMAN, J.**): *Homeomorfismos expansivos en ambientes no compactos.* Tesina Licenciatura en Matemática , UDELAR 2014 [Monografias de Sistemas Dinámicos imerl.fing.edu.uy/ssd](#)

<sup>5</sup> Los artículos en las referencias [4], [14] y [15] son anteriores al proyecto. Se incluyen entre las referencias bibliográficas por ser artículos precursores de algunos de los resultados obtenidos recientemente por investigadores del equipo.