

# **CARRERA DEL INVESTIGADOR CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO**

## **Informe Científico<sup>1</sup>**

**PERIODO <sup>2</sup>: 2013-2014**

Legajo N°:

### **1. DATOS PERSONALES**

*APELLIDO: ROSSIGNOLli*

*NOMBRES: Raúl Dante*

*Dirección Particular: Calle: N°:*

*Localidad: La Plata CP: 1900 Tel:*

*Dirección electrónica (donde desea recibir información): rossigno@fisica.unlp.edu.ar*

### **2. TEMA DE INVESTIGACION**

*Area Física. Tema: Sistemas Cuánticos de Muchos Cuerpos-Información Cuántica*

### **3. DATOS RELATIVOS A INGRESO Y PROMOCIONES EN LA CARRERA**

*INGRESO: Categoría: Asistente Fecha: 1988*

*ACTUAL: Categoría: Independiente desde fecha: 1996*

### **4. INSTITUCION DONDE DESARROLLA LA TAREA**

*Universidad y/o Centro: Universidad Nacional de La Plata - IFLP*

*Facultad: Ciencias Exactas*

*Departamento: Física*

*Cátedra:*

*Otros:*

*Dirección: Calle: 49 y 115 N°:*

*Localidad: La Plata CP: 1900 Tel: 221-424-7201*

*Cargo que ocupa: Investigador / Profesor Titular*

### **5. DIRECTOR DE TRABAJOS. (En el caso que corresponda)**

*Apellido y Nombres:*

*Dirección Particular: Calle: N°:*

*Localidad: CP: Tel:*

*Dirección electrónica:*

<sup>1</sup> Art. 11; Inc. "e" ; Ley 9688 (Carrera del Investigador Científico y Tecnológico).

<sup>2</sup> El informe deberá referenciar a años calendarios completos. Ej.: en el año 2008 deberá informar sobre la actividad del período 1°-01-2006 al 31-12-2007, para las presentaciones bianuales.

Firma del Director (si corresponde)

Firma del Investigador

**6. EXPOSICION SINTETICA DE LA LABOR DESARROLLADA EN EL PERIODO.**

*Debe exponerse, en no más de una página, la orientación impuesta a los trabajos, técnicas y métodos empleados, principales resultados obtenidos y dificultades encontradas en el plano científico y material. Si corresponde, explicita la importancia de sus trabajos con relación a los intereses de la Provincia.*

Se han investigado distintos aspectos del entrelazamiento y las correlaciones cuánticas en sistemas cuánticos compuestos fuertemente interactuantes. Se consideraron sistemas de interés en las áreas de información cuántica y física de la materia condensada. Las correlaciones cuánticas sin análogo clásico son de especial interés en información cuántica, donde constituyen un recurso indispensable para ciertas tareas, aunque el interés por las mismas se ha extendido a varias otras áreas de la física, al proporcionar una nueva perspectiva para comprender distintos fenómenos. Se obtuvieron varios resultados relevantes, que originaron las publicaciones científicas detalladas en el ítem 7, y que pueden resumirse en:

1) Análisis de la discordancia cuántica y el denominado déficit de información (trabajos [1,2,10]). Estas son medidas afines de correlaciones cuánticas que si bien resultan equivalentes al entrelazamiento en estados cuánticos puros, difieren del mismo en estados no puros (tal como el de sistemas a temperatura finita o el de subsistemas en estados puros entrelazados), pudiendo ser no nulas aun en estados sin entrelazamiento. Estas medidas han despertado gran interés por la existencia de algoritmos cuánticos que logran eficiencia en presencia de discordancia aun sin entrelazamiento. En estos trabajos se analizan las mismas en forma analítica en pares de espines inmersos en una cadena con acoplamiento de Heisenberg tipo XX y XY en un campo magnético transversal, obteniéndose fórmulas asintóticas analíticas para su decaimiento con el campo, temperatura y separación. Se demuestra el largo alcance de las mismas por debajo del campo crítico, donde exhiben diferencias sustanciales con el entrelazamiento, así como la existencia de diferencias esenciales en la medición local óptima que las define, que en el caso del déficit de información presenta transiciones que reflejan cambios estructurales en el estado del par. Estos trabajos forman la parte final de la Tesis Doctoral de Leonardo Ciliberti, defendida en Marzo 2015.

2) Generalización del concepto de entropía condicional en sistemas cuánticos. En los trabajos [3,5] se introduce una generalización rigurosa de este concepto en sistemas cuánticos, definida a partir de una operación de medida local y una entropía generalizada. El mínimo de esta entropía condicional está directamente relacionada con el entrelazamiento de formación de uno de los subsistemas con el entorno, tal como se demuestra en [3], y además determina la discordancia cuántica en el caso de la entropía de von Neumann. La generalización permite, no obstante, el uso de formas entrópicas simples que admiten una evaluación más sencilla e incluso analítica en ciertos sistemas, tales como estados generales de qubit-qudit. Se derivan además varias propiedades fundamentales de esta generalización, así como un cuadro geométrico simple y expresiones aproximadas para entropías generales.

3) Determinación de la dinámica del entrelazamiento en estados gaussianos, de gran interés en óptica e información cuántica. En el trabajo [4] se analizó en detalle y en forma analítica su dinámica y control en estados gaussianos acoplados por impulso angular, y su comportamiento en la vecindad de inestabilidades. Se derivaron expresiones asintóticas exactas para el crecimiento del entrelazamiento, el cual muestra distintos regímenes, análogos a los observados en sistemas más complejos.

4) Desarrollo de aproximaciones de campo medio generalizadas para la descripción del entrelazamiento. En el trabajo [11] se introduce una aproximación autoconsistente generalizada de campo medio, que es capaz de predecir satisfactoriamente el entrelazamiento de pares en sistemas de espines dimerizados. A diferencia de la aproximación convencional, el método predice un diagrama de fase correcto del sistema, que incluye

una fase dimerizada con pares máximamente entrelazados. Correcciones perturbativas simples permiten predecir otros observables de entrelazamiento. Este trabajo se originó en la Tesis de Licenciatura de A. Boette, que he dirigido, presentada en Abril 2014.

Asimismo, durante este período se finalizó y publicó el libro de revisión [9], "Concepts and Recent Advances in Generalized Information Measures and Statistics", en colaboración con A.M. Kowalski y E.M.F. Curado (Brasil), sobre medidas generales de información y sus aplicaciones recientes en distintos campos. En el mismo se ha contribuido con tres capítulos (trabajos [6,7,8]), que constituyen trabajos de revisión sobre conceptos básicos, desarrollos históricos y la relación entre entropías generalizadas y la teoría de la mayorización.

Se escribió y publicó también el libro "Ecuaciones Diferenciales en Física", en colaboración con los Prof. C.M. Naon y M. Santangelo, publicado por EDULP en 2014 (Colección Libros de Cátedra). Se lo detalla en el ítem 10.

Se inició también una colaboración con el Prof. S. Mandal, especialista en óptica cuántica de la Univ. Visva Bharati de W. Bengal, India, quien, por medio de una Beca UNESCO-TWAS/CONICET para Inv. visitantes visitó el IFLP en 2013 y 2014. Se finalizó un trabajo de investigación que fue enviado y publicado en 2015.

Cabe mencionar, finalmente, que durante este período se iniciaron las direcciones de los Doctorados de los Lic. N. Gigena y A. Boette, y también la dirección de la Tesis de Licenciatura de M. Cerezo, defendida en Marzo 2015. Se finalizó además la Tesis Doctoral de L. Ciliberti, presentada en 2014 y defendida en Marzo 2015. Las investigaciones se desarrollaron en el Depto. de Física - IFLP de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, en el marco de los proyectos acreditados X583 (2010-2013) y X725, Entrelazamiento y Correlaciones Cuánticas (2014-2017).

## 7. TRABAJOS DE INVESTIGACION REALIZADOS O PUBLICADOS EN ESTE PERIODO.

**7.1 PUBLICACIONES.** *Debe hacer referencia exclusivamente a aquellas publicaciones en las que haya hecho explícita mención de su calidad de Investigador de la CIC (Ver instructivo para la publicación de trabajos, comunicaciones, tesis, etc.). Toda publicación donde no figure dicha mención no debe ser adjuntada porque no será tomada en consideración. A cada publicación, asignarle un número e indicar el nombre de los autores en el mismo orden que figuran en ella, lugar donde fue publicada, volumen, página y año. A continuación, transcribir el resumen (abstract) tal como aparece en la publicación. La copia en papel de cada publicación se presentará por separado. Para cada publicación, el investigador deberá, además, aclarar el tipo o grado de participación que le cupo en el desarrollo del trabajo y, para aquellas en las que considere que ha hecho una contribución de importancia, deberá escribir una breve justificación.*

- 1) Discord and information deficit in the XX chain  
L. Ciliberti, N. Canosa, R. Rossignoli,  
Physical Review A 88, 012119 (2013).

We examine the quantum correlations of spin pairs in the cyclic XX spin-1/2 chain in a transverse field, through the analysis of the quantum discord, the geometric discord, and the information deficit. It is shown that while these quantities provide the same qualitative information, being nonzero for all temperatures and separations and exhibiting the same type of asymptotic behavior for large temperatures or separations, important differences arise in the minimizing local measurement that defines them. Whereas the quantum discord prefers a spin measurement perpendicular to the transverse field, the geometric discord and information deficit exhibit a perpendicular-to-parallel transition as the field increases, which subsists at all temperatures and for all separations. Moreover, it is shown that such transition

signals the change from a Bell state to an aligned separable state of the dominant eigenstate of the reduced density matrix of the pair. Full exact results for both the thermodynamic limit and the finite chain are provided through the Jordan-Wigner fermionization.

2) Quantum discord and related measures of quantum correlations in finite XY chains

N. Canosa, L. Ciliberti, R. Rossignoli,  
International Journal of Modern Physics B 27, 1345033 (2013).

We examine the quantum correlations of spin pairs in the ground state of finite XY chains in a transverse field, by evaluating the quantum discord as well as other related entropic measures of quantum correlations. A brief review of the latter, based on generalized entropic forms, is also included. It is shown that parity effects are of crucial importance for describing the behavior of these measures below the critical field. It is also shown that these measures reach full range in the immediate vicinity of the factorizing field, where they become independent of separation and coupling range. Analytical and numerical results for the quantum discord, the geometric discord and other measures in spin chains with nearest neighbor coupling and in fully connected spin arrays are also provided.

3) Generalized conditional entropy in bipartite quantum systems

N. Gigena, R. Rossignoli,  
Journal of Physics A 47, 015302 (2014).

We analyze, for a general concave entropic form, the associated conditional entropy of a quantum system  $A+B$ , obtained as a result of a local measurement on one of the systems ( $B$ ). This quantity is a measure of the average mixedness of  $A$  after such measurement, and its minimum over all local measurements is shown to be the associated entanglement of formation between  $A$  and a purifying third system  $C$ . In the case of the von Neumann entropy, this minimum determines also the quantum discord. For classically correlated states and mixtures of a pure state with the maximally mixed state, we show that the minimizing measurement can be determined analytically and is universal, i.e., the same for all concave forms. While these properties no longer hold for general states, we also show that in the special case of the linear entropy, an explicit expression for the associated conditional entropy can be obtained, whose minimum among projective measurements in a general qudit-qubit state can be determined analytically, in terms of the largest eigenvalue of a simple  $3 \times 3$  correlation matrix. Such minimum determines the maximum conditional purity of  $A$ , and the associated minimizing measurement is shown to be also universal in the vicinity of maximal mixedness. Results for  $X$  states, including typical reduced states of spin pairs in XY chains at weak and strong transverse fields, are also provided and indicate that the measurements minimizing the von Neumann and linear conditional entropies are typically coincident in these states, being determined essentially by the main correlation. They can differ, however, substantially from that minimizing the geometric discord.

4) Dynamics of entanglement between two harmonic modes in stable and unstable regimes

L. Rebón, N. Canosa, R. Rossignoli,  
Physical Review A 89, 042312 (2014).

The exact dynamics of the entanglement between two harmonic modes generated by an angular momentum coupling is examined. Such a system arises when considering a particle in a rotating anisotropic harmonic trap or a charged particle in a fixed harmonic potential in a magnetic field, and it exhibits a rich dynamical structure, with stable, unstable, and critical regimes according to the values of the rotational frequency or field and trap parameters. Consequently, it is shown that the entanglement generated from an initially separable Gaussian state can exhibit quite distinct evolutions, ranging from quasiperiodic behavior in stable sectors to different types of unbounded increase in critical and unstable regions. The latter lead, respectively, to logarithmic and linear growth of the entanglement entropy with time. It is also shown that entanglement can be controlled by tuning the frequency, such that it can be increased, kept constant, or returned to a vanishing value with just stepwise frequency variations. Exact asymptotic expressions for the entanglement entropy in the different dynamical regimes are provided.

5) Generalized conditional entropy optimization for qudit-qubit states

N. Gigena, R. Rossignoli,  
Physical Review A 90, 042318 (2014).

We derive a general approximate solution to the problem of minimizing the conditional entropy of a qudit-qubit system resulting from a local measurement on the qubit, which is valid for general entropic forms and becomes exact in the limit of weak correlations. This entropy measures the average conditional mixedness of the postmeasurement state of the qudit, and its minimum among all local measurements represents a generalized entanglement of formation. In the case of the von Neumann entropy, it is directly related to the quantum discord. It is shown that at the lowest nontrivial order, the problem reduces to the minimization of a quadratic form determined by the correlation tensor of the system, the Bloch vector of the qubit and the local concavity of the entropy, requiring just the diagonalization of a  $3 \times 3$  matrix. A simple geometrical picture in terms of an associated correlation ellipsoid is also derived, which illustrates the link between entropy optimization and correlation access and which is exact for a quadratic entropy. The approach enables a simple estimation of the quantum discord. Illustrative results for two-qubit states are discussed

6) Majorization and Generalized Entropies

N. Canosa, R. Rossignoli  
Concepts and Recent Advances in Generalized Information Measures and Statistics, Bentham Science, p. 100-129 (2013).

We review the concept of majorization and its relation with generalized information measures. Majorization theory provides an elegant framework for comparing two probability distributions, leading to a rigorous concept of disorder which is more stringent than that based on the Shannon entropy. Nevertheless, it is shown that it can be fully captured through general entropic inequalities based on generalized entropic forms. A brief review of generalized entropies is also provided. As illustration, we discuss the majorization properties of generalized thermal distributions derived from generalized entropies, and identify rigorous mixing parameters. We also describe majorization in quantum systems. We discuss in particular its capability for providing a disorder based criterion for the detection of quantum entanglement, which is stronger than that based on the von Neumann entropy and leads to a generalized entropic separability criterion.



- 7) Essentials of Information Entropy and Related Measures,  
R. Rossignoli, E.M.F. Curado, A.M. Kowalski,  
Concepts and Recent Advances in Generalized Information Measures and  
Statistics, Bentham Science, p. 30-56 (2013)

. This chapter provides a basic review of the Shannon entropy and of some important related quantities like the joint entropy, the conditional entropy, the mutual information and the relative entropy. We also discuss the Fisher information, the fundamental property of concavity, the basic elements of the maximum entropy approach and the definition of entropy in the Quantum case. We close this chapter with the axioms which determine the Shannon entropy and a brief description of other information measures.

- 8) Heat and Entropy: A Brief History  
E.M.F. Curado, A.M. Kowalski, R. Rossignoli  
Concepts and Recent Advances in Generalized Information Measures and  
Statistics, Bentham Science, p. 3-29 (2013)

. We provide a brief description of the historical development of the concept of Entropy, from its origins related to heat to its modern interpretation as a special measure of information.

- 9) Concepts and Recent Advances in Generalized Information Measures and  
Statistics  
A.M. Kowalski, E.M.F. Curado, R. Rossignoli (Eds.)  
Bentham Science (2013), 414 páginas, 15 capítulos.  
ISBN: 978-1-60805-761-0 eISBN: 978-1-60805-760-3  
Libro de Revisión sobre Medidas de Información Generalizadas y Aplicaciones.

Mi participación ha sido fundamental en los todos trabajos mencionados.

**7.2 TRABAJOS EN PRENSA Y/O ACEPTADOS PARA SU PUBLICACIÓN.** *Debe hacer referencia exclusivamente a aquellos trabajos en los que haya hecho explícita mención de su calidad de Investigador de la CIC (Ver instructivo para la publicación de trabajos, comunicaciones, tesis, etc.). Todo trabajo donde no figure dicha mención no debe ser adjuntado porque no será tomado en consideración. A cada trabajo, asignarle un número e indicar el nombre de los autores en el mismo orden en que figurarán en la publicación y el lugar donde será publicado. A continuación, transcribir el resumen (abstract) tal como aparecerá en la publicación. La versión completa de cada trabajo se presentará en papel, por separado, juntamente con la constancia de aceptación. En cada trabajo, el investigador deberá aclarar el tipo o grado de participación que le cupo en el desarrollo del mismo y, para aquellos en los que considere que ha hecho una contribución de importancia, deberá escribir una breve justificación.*

- 10) Quantum Discord and Information Deficit in Spin Chains  
N. Canosa, L. Ciliberti, R. Rossignoli  
(en preparación en 2014; publicado en Entropy 17, 1634 (2015).

We examine the behavior of quantum correlations of spin pairs in a finite anisotropic XY spin chain immersed in a transverse magnetic field, through the analysis of the quantum discord and the conventional and quadratic one-way information deficits. We first provide a brief review of these measures, showing that the last ones can be obtained as particular cases of a generalized information deficit based on general

entropic forms. All of these measures coincide with an entanglement entropy in the case of pure states, but can be non-zero in separable mixed states, vanishing just for classically correlated states. It is then shown that their behavior in the exact ground state of the chain exhibits similar features, deviating significantly from that of the pair entanglement below the critical field. In contrast with entanglement, they reach full range in this region, becoming independent of the pair separation and coupling range in the immediate vicinity of the factorizing field. It is also shown, however, that significant differences between the quantum discord and the information deficits arise in the local minimizing measurement that defines them. Both analytical and numerical results are provided.

- 11) Generalized mean-field description of entanglement in dimerized spin systems  
A. Boette, R. Rossignoli, N. Canosa, J.M. Matera  
(enviado en 2014; publicado en Physical Review B 91, 064428 (2015).

We discuss a generalized self-consistent mean-field (MF) treatment, based on the selection of an arbitrary subset of operators for representing the system density matrix, and its application to the problem of entanglement evaluation in composite quantum systems. As a specific example, we examine in detail a pair MF approach to the ground state (GS) of dimerized spin-1/2 systems with anisotropic ferromagnetic-type XY and XYZ couplings in a transverse field, including chains and arrays with first neighbor and also longer range couplings. The approach is fully analytic and able to capture the main features of the GS of these systems, in contrast with the conventional single-spin MF. Its phase diagram differs significantly from that of the latter, exhibiting ( $S_z$ ) parity breaking just in a finite field window if the coupling between pairs is sufficiently weak, together with a fully dimerized phase below this window and a partially aligned phase above it. It is then shown that through symmetry restoration, the approach is able to correctly predict not only the concurrence of a pair, but also its entanglement with the rest of the chain, which shows a pronounced peak in the parity breaking window. Perturbative corrections allow to reproduce more subtle observables like the entanglement between weakly coupled spins and the low lying energy spectrum. All predictions are tested against exact results for finite systems.

**7.3 TRABAJOS ENVIADOS Y AUN NO ACEPTADOS PARA SU PUBLICACION.**

*Incluir un resumen de no más de 200 palabras de cada trabajo, indicando el lugar al que han sido enviados. Adjuntar copia de los manuscritos.*

**7.4 TRABAJOS TERMINADOS Y AUN NO ENVIADOS PARA SU PUBLICACION.**

*Incluir un resumen de no más de 200 palabras de cada trabajo.*

**7.5 COMUNICACIONES.** *Incluir únicamente un listado y acompañar copia en papel de cada una. (No consignar los trabajos anotados en los subtítulos anteriores).*

**7.6 INFORMES Y MEMORIAS TECNICAS.** *Incluir un listado y acompañar copia en papel de cada uno o referencia de la labor y del lugar de consulta cuando corresponda.*

**8. TRABAJOS DE DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS.**

**8.1 DESARROLLOS TECNOLÓGICOS.** *Describir la naturaleza de la innovación o mejora alcanzada, si se trata de una innovación a nivel regional, nacional o*

*internacional, con qué financiamiento se ha realizado, su utilización potencial o actual por parte de empresas u otras entidades, incidencia en el mercado y niveles de facturación del respectivo producto o servicio y toda otra información conducente a demostrar la relevancia de la tecnología desarrollada.*

**8.2 PATENTES O EQUIVALENTES.** *Indicar los datos del registro, si han sido vendidos o licenciados los derechos y todo otro dato que permita evaluar su relevancia.*

**8.3 PROYECTOS POTENCIALMENTE TRANSFERIBLES, NO CONCLUIDOS Y QUE ESTAN EN DESARROLLO.** *Describir objetivos perseguidos, breve reseña de la labor realizada y grado de avance. Detallar instituciones, empresas y/o organismos solicitantes.*

**8.4 OTRAS ACTIVIDADES TECNOLÓGICAS CUYOS RESULTADOS NO SEAN PUBLICABLES** *(desarrollo de equipamientos, montajes de laboratorios, etc.).*

**8.5 Sugiera nombres (e informe las direcciones) de las personas de la actividad privada y/o pública que conocen su trabajo y que pueden opinar sobre la relevancia y el impacto económico y/o social de la/s tecnología/s desarrollada/s.**

**9. SERVICIOS TECNOLÓGICOS.** *Indicar qué tipo de servicios ha realizado, el grado de complejidad de los mismos, qué porcentaje aproximado de su tiempo le demandan y los montos de facturación.*

**10. PUBLICACIONES Y DESARROLLOS EN:**

**10.1 DOCENCIA**

Redacción y publicación del Libro:

Ecuaciones Diferenciales en Física

C.M. Naon, R. Rossignoli, E.M. Santangelo,

EDULP (2014). ISBN 978-950-34-1074-5

(Libro de Cátedra, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, 311 páginas)

Resumen de Índice:

I. Introducción

II. Ecuaciones Diferenciales Ordinarias: Problemas de Condiciones Iniciales (Incluye ecuaciones y sistemas de ecuaciones diferenciales de 1er orden, ecuaciones diferenciales lineales de 2o. orden y orden n, introducción a la teoría de distribuciones, función de Green).

III. Ecuaciones Diferenciales Ordinarias: Problemas con Condiciones de Contorno. (Incluye problema de Sturm-Liouville, Función de Green resolución por series de potencias generalizadas, funciones especiales (Bessel, Legendre, hipergeométricas, etc.), desarrollos en serie de autofunciones).

IV. Serie y Transformada de Fourier

(Incluye además transformada discreta de Fourier, transformada de Laplace)

V. Ecuaciones en Derivadas Parciales

(Incluye clasificación de ecuaciones de 2o. orden, método de separación de variables, ecuación de ondas, ecuación de difusión, ecuaciones de Laplace y Poisson, funciones de Green)

VI Ecuaciones de la Física Matemática a partir de un Principio Variacional

También se actualizaron y reescribieron capítulos y secciones de las Guías Teórico Prácticas de Matemática C (Ecuaciones Diferenciales y Números



Complejos, 68 páginas), en la Facultad de Ingeniería, UNLP. Actualmente se está realizando un libro de Cátedra aprobado por EDULP para esta materia.

Codirector del proyecto 11/I195: Diseño, implementación y análisis de estrategias didácticas en ciencias básicas en carreras de ingeniería, Fac. de Ing., UNLP.

Se perfeccionaron y actualizaron las Notas Teóricas de la asignatura Algebra Lineal: Aplicaciones Físicas, disponibles en versión impresa y en el sitio web de la materia (Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, 2013-2014).

## **10.2 DIVULGACIÓN**

Participación en el Proyecto de extensión: Portal de Divulgación de la Física (Facultad de Ciencias Exactas, UNLP). Se realizaron tareas de redacción de artículos de divulgación sobre Mecánica Cuántica y otros temas. También se efectuaron en el marco de este proyecto actividades de divulgación de la Física (experiencias didácticas de Laboratorio) en Escuelas de Enseñanza Media de la zona de La Plata. En el marco de este proyecto se dictó asimismo una charla de divulgación en el Liceo Víctor Mercante, titulada "Mecánica Cuántica y el futuro de la Computación", en Noviembre 2013.

Se dictó también un seminario de divulgación sobre Computación Cuántica en la Facultad de Informática de la UNLP (Noviembre 2014), para alumnos de dicha Facultad.

## **11. DIRECCION DE BECARIOS Y/O INVESTIGADORES. Indicar nombres de los dirigidos, Instituciones de dependencia, temas de investigación y períodos.**

Director de la Beca de Posgrado Tipo I (CONICET) del Lic. Leonardo Ciliberti (hasta Marzo 2013).

Director de la Beca de Posgrado Tipo II (CONICET) del Lic. Leonardo Ciliberti (Abril 2013 a Marzo 2015).

La Tesis Doctoral se finalizó en Dic. 2014 y fue defendida en Marzo 2015 (ver ítem 12.)

Director de la Beca Interna Doctoral (CONICET) del Lic. N. Gigena (Abril 2013-Marzo 2017).

Director de la Beca Interna Doctoral (CONICET) del Lic. A. Boette (Abril 2014-Marzo 2019).

Director de la Beca Interna Doctoral (CONICET) del Lic. M. Cerezo de la Roca (Abril 2015-Marzo 2020).

Director de la Beca Posdoctoral interna (CONICET) de la Dra. L. Rebón (hasta Marzo 2013).

Director de la Dra. L. Rebón como Investigadora Asistente CONICET (desde Mayo 2013).

Director de la Beca CIN de Alan Boette (2013/2014).

Director de la Beca CIN de Marco Cerezo (2014/2015).

Director de la Beca UNESCO-TWAS/CONICET (para Profs. visitantes) de S. Mandal, de la Univ. Visva Vharati, W. Bengal, India, quien visitó el IFLP durante Julio-Agosto 2013 y Noviembre-Diciembre 2014.

**12. DIRECCION DE TESIS.** *Indicar nombres de los dirigidos y temas desarrollados y aclarar si las tesis son de maestría o de doctorado y si están en ejecución o han sido defendidas; en este último caso citar fecha.*

Director de la Tesis Doctoral de Leonardo Ciliberti (finalizada en 2014).  
Defendida y aprobada el 16 de Marzo de 2015, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP  
Título: Medidas Entrópicas Generalizadas de Correlaciones Cuánticas.  
Calificación: 10.

Director de la Tesis de Licenciatura (Trabajo de Diploma) de Alan Boette.  
Defendida y aprobada el 29 de Abril de 2014, en el Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.  
Título: Descripción de correlaciones cuánticas a partir de aproximaciones de campo medio generalizadas. Calificación: 10.

Director de la Tesis de Licenciatura (Trabajo de Diploma) de Marco Cerezo de la Roca. (Comenzada en 2014; Defendida y aprobada el 19 de Marzo de 2015 en el Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP).  
Título: Correlaciones Cuánticas y Campos Factorizantes en Sistemas de Espines  
Calificación: 10

Director del Doctorado del Lic. Nicolas Gigena (en curso), Fac. de Cs.Exactas, UNLP  
Director del Doctorado del Lic. Alan Boette (en curso), Fac. de Cs. Exactas, UNLP  
Director del Doctorado del Lic. Marcos Cerezo (en curso), Fac. de Cs. Exactas, UNLP

**13. PARTICIPACION EN REUNIONES CIENTIFICAS.** *Indicar la denominación, lugar y fecha de realización, tipo de participación que le cupo, títulos de los trabajos o comunicaciones presentadas y autores de los mismos.*

- 1) TREFEMAC 2013, La Plata, Mayo 2013
  1. Discordancia y medidas de correlaciones cuánticas en sistemas de espines  
R. Rossignoli, L. Ciliberti, N. Canosa
  2. Entrelazamiento y leyes de área  
J.M. Matera, R. Rossignoli, N. Canosa
- 2) IV Quantum Information School and Workshop, Paraty, Brasil, Agosto 2013.
  1. Measurements, quantum discord and parity in spin systems  
R. Rossignoli, N. Canosa, L. Ciliberti, J.M. Matera
  2. Entanglement dynamics of gaussian states in unstable regimes  
L. Rebón, R. Rossignoli
  3. Quantum Discord, Geometric Discord and Information Deficit in XY spin chains  
N. Canosa, L. Ciliberti, R. Rossignoli
  4. Generalized conditional entropy in quantum systems, N. Gigena, R. Rossignoli
  5. Entanglement and area laws in weakly correlated gaussian states  
J.M. Matera, R. Rossignoli, N. Canosa
- 3) 98ª Reunión Nacional de Física, Inst. Balseiro, Bariloche, Septiembre 2013
  1. Entrelazamiento y leyes de área en estados débilmente correlacionados  
J.M. Matera, R. Rossignoli, N. Canosa
  2. Dinámica del entrelazamiento en sistemas bosónicos inestables  
L. Rebón, R. Rossignoli
  3. Discordancia y déficit de información en sistemas de espines  
L. Ciliberti, N. Canosa, R. Rossignoli
  4. Entropía condicional en sistemas cuánticos, N. Gigena, R. Rossignoli

- 4) Complex Systems: Foundations and Applications, Rio de Janeiro, Octubre 2013
  1. Generalized entropic measures of quantum correlations  
R. Rossignoli, N. Canosa, L. Ciliberti
  2. Generalized Information Deficit and Quantum Discord in spin chains  
N. Canosa, L. Ciliberti, R. Rossignoli,
  
- 5) Jornada de Difusión de la Física, Depto. de Física, Fac. Cs. Ex. UNLP, Nov. 2013
  1. Discordancia Cuántica y Déficit de Información en cadenas de espines finitas  
L. Ciliberti, N. Canosa, R. Rossignoli
  2. Entropía condicional en sistemas cuánticos,  
N. Gigena, R. Rossignoli
  3. Entrelazamiento y leyes de área en estados gaussianos  
J.M. Matera, R. Rossignoli, N. Canosa
  
- 6) 99ª Reunión Nacional de Física, Tandil, Septiembre 2014:
  - 1) Optimización de entropía condicional generalizada en sistemas qubit-qudit,  
N. Gigena, R. Rossignoli
  - 2) Entrelazamiento entre dos modos armónicos acoplados por momento angular  
N. Canosa, L. Rebón, R. Rossignoli
  - 3) Descripción de Correlaciones Cuánticas a partir de aproximaciones de campo  
medio generalizadas, A. Boette, R. Rossignoli, N. Canosa, J.M. Matera
  - 4) Evolución del entrelazamiento entre dos modos armónicos en regimenes estables  
e inestables, N. Canosa, L. Rebón, R. Rossignoli
  
- 7) Medyfinol 2014, Maceió, Brasil, Octubre 2014:
  - 1) Dynamics of entanglement between harmonic modes in stable and unstable  
regimes, R. Rossignoli, N.Canosa, L.Rebón (invited talk)
  - 2) Generalized entropic measures of quantum correlations in spin chains,  
N. Canosa, L. Ciliberti, R. Rossignoli (invited talk)
  
- Quantum Optics VII, Mar del Plata, Octubre 2014
  - 1) Generalized conditional entropy in quantum systems,  
N. Gigena, R. Rossignoli
  - 2) Evolution and control of entanglement between two harmonic modes  
N. Canosa, L. Rebón, R. Rossignoli

**14. CURSOS DE PERFECCIONAMIENTO, VIAJES DE ESTUDIO, ETC.** *Señalar características del curso o motivo del viaje, período, instituciones visitadas, etc.*

- Asistencia al International Quantum Information Workshop, Paraty, Brasil, Agosto 2013.  
Asistencia a Quantum Optics VII, Mar del Plata, Octubre 2014.  
Asistencia a Complex Systems: Foundations and Applications, RJ, Brasil, Oct. 2013.  
Asistencia a Medyfinol 2014, Maceió, Brasil, Octubre 2014

**15. SUBSIDIOS RECIBIDOS EN EL PERIODO.** *Indicar institución otorgante, fines de los mismos y montos recibidos.*

- Subsidio Institucional CIC para Investigadores (2013, 2014).  
UNLP: Subsidio automático para proyecto de investigación acreditado X583 (2013) y X725 (2014).

**16. OTRAS FUENTES DE FINANCIAMIENTO.** *Describir la naturaleza de los contratos con empresas y/o organismos públicos.*

**17. DISTINCIONES O PREMIOS OBTENIDOS EN EL PERIODO.**

**18. ACTUACION EN ORGANISMOS DE PLANEAMIENTO, PROMOCION O EJECUCION CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA.** *Indicar las principales gestiones realizadas durante el período y porcentaje aproximado de su tiempo que ha utilizado.*

Miembro del Consejo Directivo del IFLP (Instituto de Física de La Plata, CONICET), 2013-2014.

Miembro del Consejo del Depto. de Física, Fac. de Cs. Exactas, UNLP (hasta Julio 2013). Prof. a cargo del Depto. de Física (Julio 2013).

Par-evaluador del CONICET. Se realizaron evaluaciones de proyectos, ingresos a carrera y promociones de carrera. Evaluador de Proyectos de la ANPCYT.

Evaluador Externo de Proyectos de Investigación de la Agencia Nacional de Investigación de México (2013).

Evaluador de libro de divulgación editado por la Universidad de Mar del Plata (2013).

**19. TAREAS DOCENTES DESARROLLADAS EN EL PERIODO.** *Indicar el porcentaje aproximado de su tiempo que le han demandado.*

Profesor Titular Ordinario del Depto. de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP (desde Mayo 2013). Cátedra: Matemática C. Se introdujo también un curso de posgrado, que fue aprobado y esta siendo dictado en el 1er semestre 2015.

Profesor Titular (Int.), Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP (desde Dic. 2014).

Prof. Adj. Ord. del Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP (con Licencia desde Dic. 2014).

Se dictaron en este Departamento las siguientes materias (semestrales):

1) Seminario de Mecánica Cuántica (asignatura opt. de grado, 2° cuat. 2013 y 2014)

2) Algebra Lineal: Aplicaciones Físicas (1° cuatrimestre 2013 y 2014)

4) Teoría de la Información Cuántica (Curso de Posgrado, 2° semestre 2013 y 2014).

La actividad docente se realizó dentro de los límites de tiempo reglamentarios.

**20. OTROS ELEMENTOS DE JUICIO NO CONTEMPLADOS EN LOS TITULOS ANTERIORES.** *Bajo este punto se indicará todo lo que se considere de interés para la evaluación de la tarea cumplida en el período.*

Se han realizado referatos para las revistas Physical Review A, Physical Review C, Physical Review Letters, Physica A, Optics Communications (sección Quantum Information), Annals of Physics, Int. Journal of Quantum Information, Physics Letters A, Indian Journal of Physics, Entropy, Int. Journal of Mod. Physics, Journal of Physics A-B.

Miembro Titular del Jurado de la Tesis de G. Bosyk, Depto. de Física, Fac. de Ciencias Exactas, UNLP (Septiembre 2014).

Miembro de varios Jurados de Tesis de Licenciatura en el Depto. de Física de la Facultad de Ciencias Exactas, UNLP (L. Montangie, G.Giordano (2013), L. Baez (2014),

R. Baravalle (2015)). Jurado titular de varios concursos docentes en el Depto. de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP (incluyendo de Prof. Titular Ord. en 2014) y en el Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.

Invitación al Prof. Carlos Saavedra, Director Científico del Centro de Optica y Fotónica de la Univ. de Concepción (Chile) al IFLP en Mayo 2013, para el dictado de un Seminario sobre Criptografía Cuántica y discusión de investigaciones.

**21. TITULO Y PLAN DE TRABAJO A REALIZAR EN EL PROXIMO PERIODO.** *Desarrollar en no más de 3 páginas. Si corresponde, explicita la importancia de sus trabajos con relación a los intereses de la Provincia.*

**Entrelazamiento y Correlaciones Cuánticas**

Se investigarán diversos aspectos de las correlaciones cuánticas y el entrelazamiento cuántico en sistemas de muchos cuerpos, continuando con las actuales líneas de investigación. Los principales objetivos específicos comprenden:

I) Desarrollo de métodos aproximados para la evaluación de correlaciones cuánticas en sistemas de muchos cuerpos. Se contempla en este período profundizar el desarrollo de aproximaciones de campo medio autoconsistentes generalizadas, basadas en unidades no triviales (tales como pares o clusters de espines u objetos), y su aplicación a sistemas de espines. Se prevé que estas aproximaciones serán capaces de predecir diagramas de fase correctos y esencialmente distintos a los de campo medio convencional en sistemas altamente correlacionados, y de permitir una evaluación e interpretación simple pero confiable del entrelazamiento y otros tipos de correlaciones cuánticas, tanto internas (dentro de la unidad) como externas (entre las unidades o clusters), estas últimas mediante correcciones perturbativas, aproximaciones tipo RPA o técnicas basadas en la restauración de simetrías rotas en la aproximación. Se considerará primeramente su aplicación a cadenas de espines dimerizadas, examinándose en detalle la dependencia de las fases con el espín y campo magnético, abordándose luego sistemas de mayor complejidad. Se examinará especialmente el potencial de las mismas para la estimación de entrelazamiento y discordancia entre pares y grupos de espines, y la predicción de leyes de áreas. También se analizará la extensión a temperatura finita del método.

II) Investigación y extensión del la entropía condicional generalizada para sistemas cuánticos, introducida en este período, basada en una operación de medida local y en la utilización de formas entrópicas generales. Se prevé profundizar las investigaciones iniciadas en este período, examinándose la posibilidad de una solución analítica aproximada al problema de optimización de la medida local en sistemas generales. Cabe destacar que la discordancia cuántica (una medida de correlaciones cuánticas descrita en el ítem 6 ) se basa precisamente en la mínima entropía condicional derivada de una operación de medida local, por lo que esta línea tiene por objetivo principal desarrollar un método general aproximado para la evaluación de la discordancia cuántica y otras medidas afines). Asimismo, este problema está también relacionado con la posibilidad de controlar estadísticas condicionales remotas en un sistema cuántico bipartito mediante medidas locales ("steering"), y con la evaluación del entrelazamiento de formación de una de las partes del sistema con su entorno. Se contempla también en este punto la posibilidad de realizar mediciones experimentales sobre este tipo de entropías en sistemas fotónicos, mediante la colaboración con grupos experimentales de óptica cuántica.

III) Investigación del efecto de campos magnéticos generales sobre las correlaciones cuánticas en sistemas de espines. Gran parte de las investigaciones llevadas a cabo por nuestro grupo en los últimos años en sistemas de espines con interacciones de Heisenberg anisotrópicas, se focalizaron en el comportamiento de los mismos en presencia de campos magnéticos transversos. En el próximo período se contemplará extender estos estudios a campos magnéticos con orientación arbitraria. Se prevé determinar puntos críticos cuánticos, campos factorizantes y el comportamiento del entrelazamiento y las correlaciones cuánticas en presencia de campos magnéticos con orientación arbitraria. El objetivo final es lograr una comprensión más profunda del control que puede ejercerse sobre estos sistemas mediante campos magnéticos generales.



IV) Investigación del entrelazamiento y correlaciones cuánticas en sistemas de componentes indistinguibles (bosónicos y fermiónicos). Se prevé continuar, en primer lugar, con las investigaciones sobre la dinámica del entrelazamiento de modos en estados gaussianos de sistemas bosónicos iniciadas en este período, investigando en detalle su evolución y control en la vecindad de inestabilidades y su relación con el fenómeno de "squeezing" en alguna de las variables. Se contempla asimismo extender estas investigaciones a sistemas fermiónicos, iniciando un nuevo frente de investigación. El objetivo inicial aquí es lograr una extensión consistente de medidas definidas para sistemas distinguibles, a sistemas fermiónicos, que tengan en cuenta en forma rigurosa las simetrías especiales de estos sistemas. El siguiente objetivo es utilizar estas extensiones para caracterizar el entrelazamiento y eventualmente la discordancia de sistemas fermiónicos fuertemente correlacionados tales como superconductores finitos, y examinar su potencial en información cuántica.

V) Finalmente, se contempla, tal como se mencionó en II, el desarrollo en colaboración de una línea experimental afin al proyecto en el campo de la óptica cuántica, que contemple inicialmente la determinación experimental del entrelazamiento, discordancia y otras nuevas medidas de correlaciones cuánticas desarrolladas por nuestro grupo en sistemas fotónicos simples.

La mayoría de estos temas forman también parte de los planes de Doctorado de los Becarios participantes del grupo que dirijo en el IFLP, y se enmarcan en la temática del proyecto de investigación acreditado X725, en vigencia hasta 2017. Se prevé dirigir trabajos de Diploma y Tesis Doctorales basados en los mismos. Se contempla también continuar con el dictado de cursos de posgrado relacionados con esta temática en la UNLP. Cabe mencionar finalmente que las investigaciones experimentales y teóricas relacionadas con la información cuántica constituyen hoy una prioridad en muchos centros de investigación, tanto del exterior como locales, por lo que considero que el tema es también de interés para la Provincia de Buenos Aires.

### **Condiciones de la presentación:**

- A. El Informe Científico deberá presentarse dentro de una carpeta, con la documentación abrochada y en cuyo rótulo figure el Apellido y Nombre del Investigador, la que deberá incluir:
  - a. Una copia en papel A-4 (puntos 1 al 21).
  - b. Las copias de publicaciones y toda otra documentación respaldatoria, en otra carpeta o caja, en cuyo rótulo se consignará el apellido y nombres del investigador y la leyenda "Informe Científico Período .....".
  - c. Informe del Director de tareas (en los casos que corresponda), en sobre cerrado.
- B. Envío por correo electrónico:
  - a. Se deberá remitir por correo electrónico a la siguiente dirección: [infinvest@cic.gba.gov.ar](mailto:infinvest@cic.gba.gov.ar) (puntos 1 al 21), en formato .doc zipeado, configurado para papel A-4 y libre de virus.
  - b. En el mismo correo electrónico referido en el punto a), se deberá incluir como un segundo documento un currículum resumido (no más de dos páginas A4), consignando apellido y nombres, disciplina de investigación, trabajos publicados en el período informado (con las direcciones de Internet de las respectivas revistas) y un resumen del proyecto de investigación en no más de 250 palabras, incluyendo palabras clave.

**Nota:** El Investigador que desee ser considerado a los fines de una promoción, deberá solicitarlo en el formulario correspondiente, en los períodos que se establezcan en los cronogramas anuales.