

**CARRERA DEL INVESTIGADOR CIENTÍFICO Y  
TECNOLÓGICO**  
**Informe Científico<sup>1</sup>**

**PERIODO <sup>2</sup>: 2011-2012**

Legajo N°:

**1. DATOS PERSONALES**

*APELLIDO: ROSSIGNOLI*

*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*

**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 / Ingeniería*

*Departamento: Física / Ciencias Básicas*

*Cátedra:*

*Otros:*

*Dirección: Calle: 49 y 115 N°:*

*Localidad: CP: 1900 Tel: 0221-424-7201*

*Cargo que ocupa: Investigador / Profesor Titular (Fac.de Ing.)*

**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 ha realizado una extensa labor de investigación sobre distintos aspectos de las correlaciones de tipo cuántico en sistemas de interés para el área de información cuántica y la física de la materia condensada. Este tipo de correlaciones, que incluyen el denominado entrelazamiento cuántico, juegan un rol esencial en el campo de la información cuántica, aunque el interés por las mismas se ha extendido también a varias áreas de la física, donde proporcionan una nueva perspectiva para el análisis de transiciones de fase y otros fenómenos. Se obtuvieron varios resultados relevantes, que originaron las ocho publicaciones científicas detalladas en el ítem 7, y que pueden resumirse en:

1) Determinación de las propiedades fundamentales del entrelazamiento cuántico en el estado fundamental de sistemas de espines y bosones interactuantes (trabajos [1,4, 8]). En [1] se analizó, utilizando un método general para la evaluación de correlaciones desarrollado previamente por nuestro grupo y descrito en [4], el entrelazamiento de la partición tipo par-impar o "peine", que es la de máxima correlación en sistemas con acoplamientos de primeros vecinos. Se lograron obtener resultados analíticos en redes bosónicas y de espines con interacción tipo XY bajo la acción de un campo magnético transversal. A diferencia del caso de bloques contiguos, se mostró que para campos intensos, la entropía de entrelazamiento para esta partición es proporcional al volumen del sistema, mientras que por debajo de un cierto campo crítico, se mostró que surgen correcciones importantes a esta ley. Por otro lado, el trabajo [8] analiza, en base al mismo formalismo, el surgimiento de la ley de áreas para la entropía de entrelazamiento asociada a bloques contiguos y otras configuraciones en sistemas bosónicos y de espines en presencia de campo magnético. Se obtuvo la forma asintótica exacta de esta ley en sistemas gaussianos débilmente acoplados, así como su dependencia con la orientación y, en el caso de dos bloques, de la separación entre ellos. Los trabajos [1] y [4] formaron parte de la Tesis Doctoral dirigida en el período (véase 12).

2) Análisis de la discordancia cuántica (trabajos [3, 5, 6, 7]). La discordancia (o discordia) es una medida de correlaciones cuánticas que es equivalente al entrelazamiento en estados cuánticos puros, pero que difiere del mismo en estados no puros (tal como el de sistemas a temperatura finita), donde puede ser no nula aun en estados sin entrelazamiento. Esta medida ha despertado recientemente un gran interés en el área de información cuántica, por la existencia de algoritmos cuánticos que logran eficiencia en presencia de discordancia aun sin entrelazamiento. No obstante, en estados no puros tanto el entrelazamiento como la discordancia involucran una compleja minimización, que hace difícil su evaluación. En los trabajos [3], [5] y [6] se analiza en detalle una medida entrópica general de correlaciones cuánticas introducida por nuestro grupo (déficit de información), que generaliza la discordancia y posibilita una evaluación más simple. Se derivan en [3] las ecuaciones generales que la determinan, obteniéndose expresiones finales analíticas para sistemas de dos qubits y analizándose también varios sistemas de interés. En [6] se determina el comportamiento magnético de la discordancia generalizada de pares de espines en una cadena tipo XY, mostrándose que exhibe diferencias sustanciales con el entrelazamiento del par. Y en el trabajo [7] se evalúa por primera vez la discordancia, tanto la original como la generalizada, en sistemas de espín uno, lo cual requiere una adecuada caracterización de medidas generalizadas de espín, también introducida en el trabajo. Se analiza el importante efecto de la paridad de espín en el tipo de medida. Se muestran luego resultados para estados típicos de una cadena de espines, que indican diferencias sustanciales con el entrelazamiento, así como también ciertas diferencias entre las distintas discordancias.

3) Finalmente, en el trabajo [3] se investiga en detalle el entrelazamiento inducido por el impulso angular entre dos modos bosónicos. El sistema corresponde al de una partícula confinada en un potencial cuadrático en rotación o en un campo magnético, y es de interés tanto en física de condensados como en óptica cuántica. Se analiza el entrelazamiento tanto en el vacío como a temperatura finita, mostrándose que en el vacío diverge en los bordes de la zona estable y aumenta con el impulso angular, mientras que a temperatura finita es no nulo sólo en una cierta ventana de campo o frecuencia, por debajo de una temperatura límite finita. Se analiza también el comportamiento de la denominada discordancia gaussiana a temperatura finita.

Las investigaciones se desarrollaron en el Depto. de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, en el marco del proyecto acreditado que dirijo (X583).

## 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) Even-odd entanglement in boson and spin systems,  
R. Rossignoli, N. Canosa, J.M. Matera,  
Physical Review A 83, 042328 (2011).

We examine the entanglement entropy of the even half of a translationally invariant finite chain or lattice in its ground state. This entropy measures the entanglement between the even and odd halves (each forming a “comb” of  $n/2$  sites) and can be expected to be extensive for short-range couplings away from criticality. We first consider bosonic systems with quadratic couplings, where analytic expressions for arbitrary dimensions can be provided. The bosonic treatment is then applied to finite spin chains and arrays by means of the random-phase approximation. Results for first-neighbor anisotropic XY couplings indicate that, while at strong magnetic fields this entropy is strictly extensive, at weak fields important deviations arise, stemming from parity-breaking effects and the presence of a factorizing field (in the vicinity of which it becomes size-independent and identical to the entropy of a contiguous half). Exact numerical results for small spin  $s$  chains are shown to be in agreement with the bosonic random-phase approximation prediction.

- 2) Entanglement of two harmonic modes coupled by angular momentum  
L. Rebón, R. Rossignoli,  
Physical Review A 84, 052320 (2011).

We examine the entanglement induced by an angular momentum coupling between two harmonic systems. The Hamiltonian corresponds to that of a charged particle in a uniform magnetic field in an anisotropic quadratic potential or, equivalently, to that of a particle in a rotating quadratic potential. We analyze both

the vacuum and thermal entanglement, thereby obtaining analytic expressions for the entanglement entropy and negativity through the Gaussian state formalism. It is shown that vacuum entanglement diverges at the edges of the dynamically stable sectors, increasing with the angular momentum and saturating for strong fields, whereas at finite temperature entanglement is nonzero just within a finite field or frequency window and no longer diverges. Moreover, the limit temperature for entanglement is finite in the whole stable domain. The thermal behavior of the Gaussian quantum discord and its difference from the negativity is also discussed.

3) Quantum correlations and least disturbing local measurements

R. Rossignol, N. Canosa, L. Ciliberti,  
Physical Review A 84, 052329 (2011).

We examine the evaluation of the minimum information loss due to an unread local measurement in mixed states of bipartite systems, for a general entropic form. Such a quantity provides a measure of quantum correlations, reducing for pure states to the generalized entanglement entropy, while in the case of mixed states it vanishes just for classically correlated states with respect to the measured system, as the quantum discord. General stationary conditions are provided, together with their explicit form for general two-qubit states. Closed expressions for the minimum information loss as measured by quadratic and cubic entropies are also derived for general states of two-qubit systems. As an application, we analyze the case of states with maximally mixed marginals, where a general evaluation is provided, as well as X states and the mixture of two aligned states.

4) Evaluation of entanglement measures in spin systems with the random phase approximation

N. Canosa, J.M. Matera, R. Rossignoli,  
Journal of Russian Laser Research (Springer), 32, 322 (2011).

We discuss a general formalism based on the mean field plus random phase approximation (RPA) for the evaluation of entanglement measures in the ground state of spin systems. The method provides a tractable scheme for determining the entanglement entropy as well as the negativity of finite subsystems, which becomes analytic in the case of systems with translational invariance, in one or D dimensions. The approach improves as the spin increases, and also as the interaction range or connectivity increases. Illustrative results for different types of entanglement entropies (single site, block and comb) in the ground state of a small spin lattice with ferromagnetic type XY couplings in a transverse field are shown and compared with the exact numerical result. Effects arising from symmetry breaking at the mean field level are also discussed.

5) Generalized measures of quantum correlations for mixed states

R. Rossignoli, N. Canosa, L. Ciliberti,  
Journal of Russian Laser Research (Springer), 32, 467 (2011).

The exponential speedup achieved in certain quantum algorithms based on mixed states with negligible entanglement has renewed the interest on alternative measures of quantum correlations. Here we discuss a general measure of quantum correlations for composite systems based on generalized entropic functions, defined as the minimum information loss due to a local measurement. For pure states, the present measure becomes an entanglement entropy, i.e., it reduces to the generalized entropy of the reduced state. However, for mixed states it can be nonzero in separable states, vanishing just for states diagonal in a general product

basis, like the quantum discord. Quadratic measures of quantum correlations can be derived as particular cases of the present formalism. The minimum information loss due to a joint local measurement is also considered. The evaluation of these measures in a simple yet relevant case is also discussed.

6) 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 (2012).

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.

7) Measurements, quantum discord, and parity in spin-1 systems

R. Rossignoli, J.M. Matera, N. Canosa  
Physical Review A 86, 022104 (2012).

We consider the evaluation of the quantum discord and other related measures of quantum correlations in a system formed by a spin-1 and a complementary spin system. A characterization of general projective measurements in such system in terms of spin averages is thereby introduced, which allows one to easily visualize their deviation from standard spin measurements. It is shown that the measurement optimizing these measures corresponds in general to a nonspin measurement. The important case of states that commute with the total  $S_z$  spin-parity is discussed in detail, and the general stationary measurements for such states (parity preserving measurements) are identified. Numerical and analytical results for the quantum discord, the geometric discord, and the one-way information deficit in the relevant case of a mixture of two aligned spin-1 states are also presented.

8) Entanglement and area laws in weakly correlated Gaussian states,

J.M. Matera, R. Rossignoli, N. Canosa,  
Physical Review A 86, 062324 (2012).

We examine the evaluation of entanglement measures in weakly correlated Gaussian states. It is shown that they can be expressed in terms of the singular values of a particular block of the generalized contraction matrix. This result enables us to obtain in a simple way asymptotic expressions and related area laws for the entanglement entropy of bipartitions in pure states, as well as for the logarithmic negativity associated with bipartitions and also with pairs of arbitrary subsystems. As illustration, we consider different types of contiguous and noncontiguous blocks in two-dimensional lattices. Exact asymptotic expressions are provided for both first-neighbor and full-range couplings, which lead in the first case to area laws depending on the orientation and separation of the blocks.

Mi participación ha sido fundamental en los todos trabajos anteriores.

- 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.*
- 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**

Se introdujo en 2011 el curso optativo de grado "Seminario de Mecánica Cuántica", para la carrera de Licenciatura en Física de la UNLP. Dictado en 2011 (1° vez) y 2012.

Se perfeccionaron y actualizaron las Notas Teóricas de la asignatura de grado Matemáticas Especiales II, disponibles en versión impresa y en el sitio web de la materia (Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP). Actualmente se está escribiendo un libro de cátedra en base a estas notas.

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).

**10.2 DIVULGACIÓN**

Participación en el Proyecto de extensión: Portal de Divulgación de la Física (Facultad de Ciencias Exactas, UNLP). Se realizaron tareas de dirección y 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: Escuela Técnica N° 5 "General Savio" (Junio 2011, Liceo Victor Mercante (Junio 2012) y la Escuela de Enseñanza Media N° 2 (Junio 2012).

En el marco de este proyecto se dictó asimismo una charla de divulgación en el Liceo Victor Mercante, titulada "Mecánica Cuántica y el futuro de la Computación", el 22 de Noviembre de 2011.

Se dictó también un seminario de divulgación para alumnos sobre temas de Mecánica Cuántica e Información Cuántica, en el Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP (Marzo 2011).

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 II (CONICET) del Lic. J.M. Matera (Abril 2010 - Marzo 2012). Tema: Entrelazamiento cuántico en sistemas de muchas partículas. Actualmente el Dr. J.M. Matera es Investigador Asistente del CONICET (véase ítem 12).

Director de la Beca de Posgrado Tipo I (CONICET) del Lic. L. Ciliberti (Abril 2010--Marzo 2013). Tema: Correlaciones Cuánticas en sistemas de muchas partículas. Actualmente director de su Beca de Posgrado tipo II. Actualmente director de su Beca de Posgrado tipo II.

Director de la Beca Posdoctoral interna CONICET de la Dra. L. Rebón (desde Abril 2011). Tema: Entrelazamiento y correlaciones cuánticas en sistemas finitos.

Director de la Beca de Posgrado tipo I (CONICET) del Lic. N. Gigena (a partir de Abril 2013. Solicitada en 2012).

Drección de Becarios e Investigadores en el marco del Proyecto de Investigación acreditado X583: Entrelazamiento cuántico en sistemas de muchos cuerpos (2010--2013). Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.

**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 de Doctorado de J.M. Matera (finalizada).  
Defendida y aprobada el 19 de Mayo de 2011, en el Depto. de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP.  
Título: Entrelazamiento cuántico en sistemas de muchos cuerpos. Calificación: 10.

Director del Doctorado del Lic. L. Ciliberti (en curso, en su etapa final).  
Director del Doctorado del Lic. N. Gigena (en curso).

**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.*

I - Humboldt Kolleg Conference, La Plata, Marzo 2011.

Se asistió a la reunión y se presentaron los trabajos:

- 1) Quantum discord and new measures of quantum correlations for mixed states, R. Rossignoli, L. Ciliberti, N. Canosa.
- 2) Entrelazamiento cuántico en cadenas de espines, J.M. Matera, N. Canosa, R. Rossignoli.

II - Workshop Mecánica Estadística y Teoría de la Información, La Plata, Abril 2011.

Se asistió a la reunión y se presentaron los trabajos:

- 1) Quantum discord and new measures of quantum correlations for mixed states, R. Rossignoli, L. Ciliberti, N. Canosa.
- 2) Evaluation of entanglement measures in spin systems, N. Canosa, J.M. Matera, R. Rossignoli

III - International conference on squeezed states and uncertainty relations and 5<sup>th</sup> Feynman Festival, Foz do Iguazu, Brasil, Mayo 2011.

Se asistió a la reunión y se presentaron los trabajos:

- 1) Generalized entropic measures of quantum correlations, R. Rossignoli, N. Canosa, L. Ciliberti.
- 2) Evaluation of entanglement observables in spin systems, N. Canosa, R. Rossignoli, J.M. Matera.

IV - Quantum Information Workshop, Paraty, Brasil, Agosto 2011.

Se asistió a la reunión y se presentaron los trabajos:

- 1) Generalized entropic measures of quantum correlations, R. Rossignoli, N. Canosa, L. Ciliberti
- 2) Evaluation of entanglement measures in spin systems with the RPA, J.M. Matera, R. Rossignoli, N. Canosa
- 3) Quantum discord in finite XY chains, L. Ciliberti, R. Rossignoli, N. Canosa
- 4) Entanglement in harmonic modes coupled by angular momentum, L. Rebón, R. Rossignoli

V - Reunión SUF-AFA, Montevideo, Uruguay, Septiembre 2011.

Se asistió a la reunión y se presentaron los trabajos:

- 1) Medidas entrópicas generalizadas de correlaciones cuánticas, R. Rossignoli, N. Canosa, L. Ciliberti.
- 2) Evaluación de entrelazamiento par-impar en sistemas de espines mediante el método RPA, N. Canosa, J.M. Matera, R. Rossignoli

VI - 97<sup>a</sup> Reunión Nacional de Física, Va. Carlos Paz, Córdoba, Septiembre 2012

Se asistió a la reunión y se presentaron los trabajos:

- 1) Entrelazamiento de dos osciladores cuánticos acoplados por momento angular, L. Rebón, R. Rossignoli
- 2) Evaluación de la discordancia cuántica en sistemas de espín 1 N. Canosa, J.M. Matera, R. Rossignoli
- 3) Evaluación de medidas generalizadas de correlaciones cuánticas, R. Rossignoli, L. Ciliberti, N. Canosa

VII - Jornadas de Fundamentos de Mecánica Cuántica, La Plata, Noviembre 2012

- 1) Entrelazamiento y Leyes de Area J.M. Matera, R. Rossignoli, N. Canosa
- 2) Medidas de Correlaciones Cuánticas L. Ciliberti, N. Canosa, R. Rossignoli

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

Participación en el International Quantum Information Workshop, Paraty, Brasil, Septiembre 2011.

Participación en la International conference on squeezed states and uncertainty relations and 5<sup>th</sup> Feynman Festival, Foz do Iguazu, Brasil, Mayo 2011.

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

Subsidio Institucional CIC para Investigadores (2011, 2012).

UNLP: Subsidio automático para proyecto de investigación acreditado X583 (2011 y 2012).

**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), 2011-2012.

Miembro titular por el claustro de Profesores del Consejo del Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP (Julio 2012 a Julio 2013).

Prof. a cargo del Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP (Octubre-Noviembre 2012).

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

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

Profesor Titular del Depto. de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP, desde Agosto 2012. Cargo Ordinario a partir de Mayo 2013. Cátedra: Matemática C.

Profesor Adjunto Ord. del Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.

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

- 1) Seminario de Mecánica Cuántica (asignatura opt. de grado, 2° cuat. 2011 y 2012)
- 2) Matemáticas Especiales II (1° cuatrimestre 2011)
- 3) Álgebra Lineal: Aplicaciones Físicas (1° cuatrimestre 2012)
- 4) Teoría de la Información Cuántica (Curso de Posgrado, 2° semestre 2011).

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 y Optics Communications (sección Quantum Information).

Miembro Titular de la Comisión Específica de la Carrera de Física Médica (2011 a Julio 2012).

Miembro Titular del Jurado de la Tesis de Doctorado de A. Bendersky, en el Depto. de Física, Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (Dic. 2011)

Miembro Titular del Jurado de la Tesis de Doctorado de A. Zwick, en la FAMAFA (Facultad de Matemática, Astronomía y Física) de la Universidad Nacional de Córdoba (Abril 2012).

Miembro de Jurados de Tesis de Licenciatura en el Depto. de Física de la Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.

Jurado titular de concursos docentes en el Depto. de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP, y en el Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.

Evaluador de Tesis Doctorales para el Premio Giambiagi de la AFA 2011.

**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.*

Correlaciones Cuánticas en Sistemas de Muchos Cuerpos

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 objetivos principales comprenden:

- 1) Análisis de nuevas medidas de correlaciones cuánticas. Como se menciona en 6, en años muy recientes ha surgido un gran interés por medidas de correlaciones cuánticas alternativas al entrelazamiento para estados cuánticos no puros, tales como la discordancia cuántica (quantum discord), la discordancia generalizada (o déficit de información generalizado), introducida por nuestro grupo (véase trabajos [3,5,6]) y la denominada discordancia geométrica, un caso particular de la discordancia generalizada pero de especial interés por su fácil evaluación. La razón es la existencia

de algoritmos cuánticos basados en este tipo de estados (tal como el algoritmo de Knill y Laflamme, véase trabajos [3,6]), que logran una mejora exponencial (exponential speed-up) respecto del mejor algoritmo clásico para el mismo problema, sin presencia sustancial de entrelazamiento. En el próximo período nos proponemos investigar en detalle varios aspectos de estas medidas, aun no conocidos, tales como:

a) Desarrollo de métodos generales para la determinación de las distintas discordancias. Todas las discordancias dependen de una compleja minimización sobre una medida local, lo cual ha limitado hasta ahora su evaluación a sistemas simples. Hemos logrado en el período pasado importantes avances en esta dirección (evaluación en estados generales de dos qubits y sistemas de espín 1, véase trabajos [3, 8]) pero resta aun el desarrollo de un método general que permita al menos su estimación en sistemas de mayor tamaño y complejidad. En el próximo período investigaremos distintas posibilidades, entre ellas la aplicación del método general aproximado para la determinación de entrelazamiento, utilizado en los trabajos [1] y [8] del presente informe, a la evaluación de los distintos tipos de discordancia. b) Análisis de las transiciones exhibidas por la discordancia geométrica y medidas análogas. Si bien los diferentes tipos de discordancia exhiben comportamientos similares entre sí y distintos al del entrelazamiento, hemos detectado, no obstante, ciertas diferencias importantes entre el déficit de información y la discordancia geométrica, por un lado, y la discordancia cuántica original, por otro (ver trabajos [3,5,6] del presente informe). Las primeras pueden exhibir ciertas transiciones, ausentes en la última, que han sido hasta el momento poco investigadas. Nos proponemos analizar estas transiciones y su significado físico como testigos de cambios importantes en la estructura del estado. Investigaremos estos efectos en cadenas de espines con interacciones tipo XX y XY y su relación con las transiciones magnéticas y térmicas del sistema. c) Análisis del rol de medidas generalizadas en la evaluación de la discordancia cuántica. Si bien la mayor parte de las evaluaciones realizadas hasta el presente se basan en medidas proyectivas estándar, en el último año surgieron evidencias de que es necesario en principio considerar medidas generalizadas para alcanzar el valor óptimo. Al mismo tiempo, tal tipo de medidas posibilitaron una evaluación aproximada en ciertos estados, tales como los estados gaussianos, de gran importancia en información cuántica. Se analizará pues el efecto de medidas generalizadas y su caracterización e interpretación física, en los sistemas considerados. Se investigarán también en este contexto las denominadas medidas débiles, que han despertado recientemente gran interés. d) Análisis de la relación entre entrelazamiento y discordancia. Se sabe que existe una estrecha relación entre la discordancia cuántica original y el denominado entrelazamiento de formación estándar en un sistema tripartito, pudiendo utilizarse la primera para evaluar la segunda y viceversa. Esta identidad permite también interpretaciones operativas de la discordancia como cuantificador de capacidades cuánticas. Investigaremos la extensión de esta relación para las discordancias generalizadas y otras medidas afines, de más fácil evaluación. Se investigarán también propiedades formales, tales como cotas y relaciones de orden, y también las posibles interpretaciones operativas. En el marco de esta línea se han iniciado contactos con grupos de óptica cuántica, con el objeto de determinar experimentalmente estas nuevas medidas para fotones entrelazados en polarización. a partir de mediciones simples de fácil implementación. Existen dos Doctorados en curso bajo mi dirección en esta temática, uno de ellos casi finalizado.

II) Análisis del entrelazamiento cuántico en sistemas de espines. Se proseguirán las investigaciones actuales sobre el entrelazamiento a bajas temperaturas en cadenas de espines finitas con distintos tipos de interacciones, y su comportamiento con el campo magnético, temperatura y otros parámetros de control. Entre los objetivos específicos que se persiguen, mencionamos: a) Extensión de los resultados del trabajo [8] del presente informe, sobre la ley de áreas para la entropía de entrelazamiento, desarrollados esencialmente para sistemas bosónicos débilmente correlacionados, a

sistemas con correlación fuerte e interacciones más generales. Se prevé en particular extender el método a sistemas de espines con ruptura de simetría, utilizando las técnicas del trabajo [1] y [4]. b) Análisis del entrelazamiento en sistemas dimerizados. Existe un gran interés, en la física de la materia condensada, en cadenas de espines que exhiben dimerización exacta para ciertos valores de los acoplamientos y parámetros de control. Hemos investigado en años previos ciertos aspectos del entrelazamiento en cadenas con dimerización simple, y la relación entre campo factorizante y transición de dimerización. Nos proponemos generalizar estos resultados en sistemas con interacciones más generales y estructuras más complejas. c) Análisis del rol del entrelazamiento en la caracterización de fases cuánticas y otros fenómenos cuánticos. En los últimos años ha crecido el interés en utilizar el entrelazamiento para caracterizar y cuantificar distintos tipos de fases y estados en cadenas de espines. En particular, se ha vinculado el fenómeno de frustración en sistemas cuánticos con una medida particular de entrelazamiento, y los estados con orden topológico con la existencia de entrelazamiento de largo alcance. Se contempla investigar estos aspectos en modelos de espines simples, utilizándose las técnicas generales aproximadas empleadas en los trabajos [1] y [4].

III) Finalmente, se proseguirá con la investigación de entrelazamiento y discordancia en estados bosónicos de tipo gaussiano, que resultan de particular interés en óptica cuántica. El primer objetivo aquí será determinar la dinámica del entrelazamiento en el sistema considerado en el trabajo [2] del presente informe, analizando en detalle la generación de entrelazamiento a partir de estados separables y el comportamiento asintótico del mismo. En una segunda etapa se intentará evaluar la dinámica de la discordancia cuántica, utilizando técnicas recientes que permiten estimar la misma en estados de tipo gaussiano. Se contempla también aquí la posibilidad de simular este sistema por medios ópticos.

Otras tareas en curso incluyen la edición de un libro sobre Medidas de Información Generalizadas y un libro de cátedra sobre Ecuaciones Diferenciales.

Las investigaciones se enmarcan actualmente en el proyecto acreditado X583, Entrelazamiento cuántico en sistemas de muchos cuerpos, que dirijo en la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP y en el que se desarrollan dos tesis de Doctorado. Cabe mencionar finalmente que la financiación de investigaciones experimentales y teóricas relacionadas con la información cuántica constituye hoy una prioridad en muchos países, incluyendo países latinoamericanos y provincias o estados de dichos países, 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.