

# COMUNICACION CORTA

## LOS PROBLEMAS DE LA INTERACCION

### ENTRE FISICA Y SOCIEDAD EN EL NUEVO MILENIO

Víctor Fajer, Centro de Estudios Aplicados al desarrollo Nuclear (CEADEN)

#### RESUMEN

Se exponen de forma resumida las ideas fundamentales debatidas en el Tercer Congreso Mundial de Sociedades de Física y la exposición de la parte cubana.

#### ABSTRACT

The fundamental ideas discussed in the Third World Congress of Physical Societies are exposed in a resumed form together with the position of the Cuban part.

#### 3er. Congreso Mundial de Sociedades de Física (Berlín, diciembre 2000)

Los tópicos fundamentales del Congreso fueron los siguientes:

- La comprensión pública de la Física.
- La visión europea.
- La visión global.
- Elevación del perfil de la Física en la escuela.
- El fortalecimiento de las Sociedades de Física.
- El Mundo de la Física.

En el mencionado Congreso hubo representación de todos los continentes con fuerte predominio de los países desarrollados en especial de Europa y Estados Unidos. La representación de América Latina fue pobre, sólo participaron los siguientes países:

México, Costa Rica, República Dominicana, Chile y Cuba. De ellos sólo 4 presentaron ponencias, se permitió una intervención adicional sobre la Física en Cuba a solicitud de la parte cubana.

A continuación relaciono algunas ideas importantes debatidas en el Congreso.

Comprensión pública de la Física (Treusch, 2000).

#### ¿Cuál es la idea?

La Física es fundamental para nuestra comprensión del mundo, por lo tanto es una piedra angular irremplazable de nuestra educación y de nuestra cultura.

La Física ha sido, es y será una fuerza directora del desarrollo técnico y económico global. Esto es válido a pesar de su posible "uso dual" y se

mantiene válido en el "Siglo de las Ciencias de la Vida". La Física es entonces necesaria para el desarrollo de la humanidad con respecto a la cultura, la salud y la economía. Los físicos han sido, son y serán embajadores de un pacífico diálogo internacional, ya que ellos comparten la creencia en la importancia de una aproximación racional a la verdad, por tanto la Física tiene carácter ético. Adicionalmente la Física es divertida.

#### ¿Cuáles son los hechos?

La Física tiene la mala reputación de ser responsable de la bomba atómica y otras contribuciones a las guerras modernas además de considerarse el tópico más complicado en la vida de los estudiantes. Los físicos no son vistos tomando parte en las expectativas de las empresas industriales modernas.

#### ¿Cuáles son las metas?

- Aumento de la utilidad pública de la Física.
- Mejorar los programas de las escuelas.
- Incrementar el número de estudiantes de Física.
- Incrementar el intercambio de físicos a todos los niveles.
- Incrementar la utilidad de las áreas relacionadas con la Física tales como la Física Médica, la Física Ambiental, la Biofísica, etc.
- Mejora del atractivo de trabajo de los físicos en las escuelas, universidades y administración mejorando su remuneración.

#### ¿Qué debe hacerse?

Manteniendo la calidad científica como un criterio inalienable de calidad, los físicos deben ir a la población e interactuar con la sociedad y el mercado para decir qué cosa es la Física y para qué sirve.

Abrir los laboratorios a las escuelas, aulas y maestros.

Abrir los laboratorios a la industria.

Abrir los laboratorios al público general...

No vacilar en promover la diversión y el disfrute.

Invitar a los dirigentes políticos a los laboratorios.

Invitar a aquellos que forman la opinión pública (periodistas, la radio y la televisión).

Invitar a jóvenes y a sus familiares.

Ir a las escuelas.

Ir a escuelas entrenadoras de profesores.

Ir al público.

Enfatizar que la Física y la Investigación Científica es excitante, un reto intelectual y extremadamente relevante para las necesidades del ser humano.

**Los planteamientos o propuestas de la Sociedad Cubana de Física (SCF) fueron los siguientes:**

Promover el apoyo de la IUPAP y de las Sociedades de Física a desarrollar Talleres Internacionales de Física en países del Tercer Mundo.

Esta propuesta dio lugar a la inclusión en la resolución final de lo siguiente:

*Dado que Unión Internacional para la Física Pura y Aplicada, IUPAP, representa la comunidad internacional de físicos, ella y las fuertes Sociedades de Física, deben apoyar el desarrollo de encuentros regionales de Física en países en desarrollo.*

#### **RESOLUCIONES GENERALES**

Estas se han promovido y seguirán divulgándose por parte de la SCF. Se acordó proponer al año 2005 como año mundial de la Física.

#### **REFERENCIAS**

TREUSCH, J. (2000): **Public understanding of Physics**. Conference in the Third World Congress of Physical Societies, Berlin.

# CONFERENCIA INVITADA

## ONE HUNDRED YEARS OF QUANTUM PHYSICS

### ITS IMPACT ON SCIENCE AND TECHNOLOGY

Marcelo Alonso, Florida Institute of Technology, Melbourne Florida

We are commemorating the first Centennial of the publication in december 1900, of Planck's paper. "A Theory of the Energy Distribution Law in the Normal Spectrum" (Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum), that can be considered as the first landmark or birth of quantum physics (QP). Few papers have had a long term impact, not only on Physics, but in all sciences, in technology, in philosophy, even in society in general, as Planck's paper. Most interesting, Planck, like many other innovators, could not foresee the magnitude of the revolution, in Thomas' Kuhn's sense, that he had just started, that eventually led to a revision of the concepts of particles and fields at the fundamental level.

If I am asked what is the most important features of the 20<sup>th</sup> Century, that is coming to a close, I would not hesitate to say that it is the extraordinary advance in our understanding and manipulation of matter and radiation, made possible because of the emergence of QP and the development of elaborate techniques (detectors, accelerators, etc.) for exploring and acting on matter and radiation at its most fundamental level, in other words, a unique combination of science and technology, providing a paradigm of the microscopic world quite different from our view of the macroscopic world. But what is even more important from the social point of view, we live surrounded by technological developments based in one way or another on QP, with applications in fields so diverse as medicine, biology, control and communications, materials, space exploration, image processing, etc, that would be too many to mention in detail.

#### MICRO, MESO AND MACROPHYSICS

At the level of microphysics, we have identified the most relevant components of matter and recognized how those components interact, and we have developed a coherent formalism or methodology, Quantum Physics, to deal with those components and interactions. This has led to the formulation of a paradigm or "story line" of Physics of great simplicity, as shown in Table 1, that has allowed us to have a unified view of how the universe functions. This

conceptual unification is perhaps the most important contribution of QP, that is not a static science, but continues evolving. Thanks to QP we know how to calculate with great precision the properties of molecules, atoms and nuclei, and explain the properties of many materials such as conductors and semiconductors. Thanks to the development of the quantum field theory (QFT) we know how to analyze the interaction between EM radiation and matter and found the notion of particles and fields ( not waves) can be correlated. A standard model of particles (leptons and quarks) has unified the explanation of many high energy processes. And so on.

This conceptual unification based on QP also had an important impact on our understanding of the world at the macroscopic or sensorial level, that is systems composed of a large number of units, of the order of  $10^{23}$ . Up to 1900 the approach to the understanding of the physical world was based mostly on our sensorial experiences and grew in a haphazard fashion, by aggregation, that blurred any possible conceptual unity at that level, and resulted in several independent sciences according to the phenomenology: Biology, Chemistry, Physics. In turn, Physics became divided according to our sensorial experience into the "classical " branches : mechanics, heat, acoustics, optics and electromagnetism. Although the prevailing mechanistic view of the universe was a sort of unifying principle, and still it is taught in that way. But those sciences, and in particular the "classical" branches of Physics, have been affected by QP, and we talk about quantum biology, quantum chemistry, quantum optics, quantum theory of solids or condensed matter, quantum electrodynamics, etc, that deal with the phenomenology at the fundamental levels, whose explanation requires the formalism of QP.

Today we know that all those "classical" or sensorial branches of Physics deal with phenomena that are consequence of the structure of matter and radiation at the fundamental level. Therefore macro- and micro-physics are closely related, something that began to be recognized at the end of the 19<sup>th</sup> century. However it was the advent of QP at the beginning of the 20<sup>th</sup> Century what made possible to

develop that relation in a precise and quantitative way during this century. Thus we should not divide any more Physics into "classical" and "modern", because "modern" is already one century old. Instead we must talk of "micro", "meso" and "macro" physics, as three broad levels of analyzing nature, depending on the size of the system dealt with and the level of resolution at which we analyze it. The role of QP is different at each level: it is fundamental at the micro, not so much at the meso, and rather diffuse at the macro.

## PHYSICS IN 1900

To fully understand the scientific and technological impact of QP it is important to keep in mind the situation of Physics at the turn of the 19<sup>th</sup> century, when it had been accepted by the society that science is a bona fide quest for knowledge. Let us recognize that we interpret all phenomena at the macro level in terms of the notions of "localization" and "extension", for which the concepts of "particles" and "fields" are used. Newton, with his famous three laws, provided the scientific methodology for dealing at the macroscopic level with the notions of "particles" under the action of "forces", including gravitation, and Maxwell developed a coherent scientific macroscopic "field" theory of electromagnetism, that in its time dependent version included electromagnetic "waves", that is EM fields that propagate in space with a well defined velocity, without distortion.

Other wave phenomena of "mechanical" macroscopic nature, such as elastic waves and waves in fluids, were also known. All had in common that they obeyed the same type of differential equation

of second order,  $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 \nabla^2 u$  where  $v$  is the

velocity of propagation of the field, although other equations of first order in time, such as

$\frac{\partial u}{\partial t} = f(u) + D \nabla^2 u$ , admit "wavefront" solutions.

However, it must be understood that not all time dependent fields obey that type of equation and propagate as a wave, even if we can associate with them a wavelength or a frequency as a result of their Fourier analysis. Newton-Maxwell view of the universe in terms of "particles" and "fields" has proved to be most successful and it is still at the core of the 20<sup>th</sup> century physics, having been incorporated into QP, but in a different way, based on the quantum theory of fields (QFT).

To be precise, I will indicate the meaning in QP of the notions of "particles" and "fields". A quantum "particle" is a physical entity localizable in space-time, that is characterized by certain parameters (charge, mass, spin, parity), the motion is governed

by a dynamical law, obeys certain symmetries, and is associated with a quantum "field". In turn a quantum "field" is a physical entity described by a function extended over space and time, obeys a dynamical law, has certain transformation properties and symmetries, and its components are quantum operators that "create" or "annihilate" the "particles" associated with the "field". Whether in QP one uses the notions of "particles" or "fields" depends on the particular situation or process being considered.

Another aspect of 19<sup>th</sup> century physics is that most phenomena were described by linear differential equations, that admit precise deterministic solutions, although a few physicists, such as Stokes, Rayleigh, and later Poincare, were beginning to recognize that more complex equations might be needed in some cases (fluid motion, sound, planetary motion, etc.). However in 1900 the conceptual edifice of physics seemed to be complete and many, rather naively, advanced the idea that the only new things to be expected in the next century was a refinement in the measuring, observational and computational techniques. And this is precisely what happened, with profound conceptual and practical consequences, as we are going to point out in what follows. Rather than presenting a systematic history of the development of QP, I will highlight only the most critical conceptual issues related to QP, that affected our view of the universe, omitting the details and many related developments, because you all know them very well.

## THE BEGINNINGS

As it is well known, since the 1850's the spectral distribution of energy in the blackbody radiation, that is EM radiation confined to a cavity and in equilibrium by exchanging with the atoms of the cavity, had been measured experimentally by Kirchoff and others, but still remained to explain how the atoms in the cavity maintained the equilibrium with the EM radiation. The problem interested Max Planck, at that time professor of Physics at the University of Berlin, and in October of 1900, based on recent measurements by Rubens and using Maxwell-Boltzmann statistics, obtained empirically an expression for the spectral distribution of energy in the blackbody radiation, that in current notation is  $\rho(\nu, T) = (8\pi h \nu^3 / c^3) (\exp(h\nu/kT) - 1)^{-1}$ , where the constant  $h$  is known as Planck's constant, the notorious symbol of QM, and  $k = R/N_A$  is Boltzmann constant, that Planck introduced. The world is immersed in a cosmic radiation, remnant from the Big Bang, with a blackbody spectrum corresponding to a temperature of 2,7K.

The next task for Planck was to provide a theoretical justification of this expression, compatible with thermodynamics and the concept of entropy.

That he did in a few days and in December of 1900 he submitted a paper with his theoretical analysis. The method followed by Planck, based on Boltzmann's statistical definition of entropy,  $S = k \ln W$ , is well known and I do not need to elaborate on it. The important point is that Planck, "in an act of desperation" as he confessed later on, found that the only way to reproduce the empirical spectral distribution of the blackbody radiation was to assume that the atoms of the cavity walls behave as oscillators that could absorb or emit EM radiation only in amounts proportional to the frequency of the radiation, that is  $\Delta E = h\nu$ . The obvious consequence is that the energy of the oscillators must be  $n h\nu + E_0$  where  $E_0$  is a zero point energy, that Planck assumed to be zero to make sure his model gave a finite total energy. We know now that this is not correct, that  $E_0 = \frac{1}{2} h\nu$ , but that does not matter because we also know that Planck's derivation is not satisfactory. The correct derivation was obtained by Einstein years later.

As it is well recognized, the most important aspect of Planck's idea was the "quantization" of the energy of the atomic oscillators. Quantization existed in the Newton-Maxwell physics but in a different way. It appeared whenever a wave motion had to be confined to a certain region, resulting standing waves with a discrete spectrum of frequencies (vibrating strings and plates, organ pipes, wave guides and cavities, etc). Or more rigorously, as a consequence of the boundary conditions imposed on the differential equation satisfied by a field, whenever the field was confined to a finite region. Nothing in Newton mechanics led to such quantization of the energy of a particle, whose motion was not described by any partial differential equation. For that reason Planck's idea was not accepted enthusiastically, although it was recognized as a clever "ad hoc" mathematical way of deriving the blackbody energy spectrum, and the need to justify, based on some new principles, why the energy of the oscillators was quantized, remained. However the similarity of energy quantization and standing waves had a profound influence on the future development of QM, particularly on Schrodinger's work, although to a certain extent it also led to many confusions or misconceptions. (I should note in passing that in 1906, in what was the first application of Qp to solid state physics, Einstein, and shortly after Debye, used Planck's ideas of quantization of the energy of oscillators combined with Maxwell-Boltzmann statistics to explain successfully the variation of the heat capacity of solids with temperature, thus reinforcing the idea of energy quantization).

A second important consequence of Planck's idea was the need to revise the EM radiation interacts with matter. Planck's never questioned Maxwell

theory of EM radiation, but how the energy was exchanged with the oscillators remained an open question. The crucial step in this direction was taken by A. Einstein. In March of 1905 Einstein published a paper entitled "On a heuristic point of view concerning the generation and conversion of light" in which he studied blackbody radiation in a new way. Without questioning the validity of Planck's formula for the energy distribution of the radiation, Einstein went beyond Planck's ideas, and proposed that EM radiation is carried in energy "quanta" and stated his revolutionary "heuristic principle": "if monochromatic radiation behaves as a discrete medium consisting of energy quanta of magnitude  $h\nu$ , then this suggests an inquiry as to whether the laws of generation and conversion of light are also constituted as if light were to consist of energy quanta of this kind". In other words, what Einstein was proposing was to re-examine how EM energy is carried in space and how it is absorbed and emitted by matter. In fact, in 1910 Einstein reiterated that "the properties of elementary processes makes it almost inevitable to formulate a truly quantized theory of radiation".

In the same paper, as a follow up to his proposal that radiation energy is carried in quanta, Einstein proposed an explanation of the photoelectric effect, a subject of active research at the time. Einstein's suggestion was that the electrons absorbed energy from the EM radiation in bundles or quanta with energy  $h\nu$ , and introduced the famous relation  $E_k = h\nu - E_0$ , to fit the observed kinetic energy of the electrons emitted vs. the frequency of the radiation. This relation has been verified experimentally with great precision with many materials and EM radiation of different frequencies, confirming that  $h$  is the same constant used by Planck for blackbody radiation. In spite of the initial resistance to his ideas, Einstein was awarded the 1922 Nobel physics prize for his work on the photoelectric effect. Needless to say Einstein's theory of the photoelectric effect has induced a multitude of important applications, and has been extended to the atomic and nuclear photoelectric effect and to chemical and biological processes.

Of course the energy quanta proposed by Einstein, called "photons" by G. Lewis in 1926, were not particles in the same sense as the electrons. Since they moved with the speed of light, they had to have zero mass, and therefore according to Einstein's theory of relativity, the relation between their energy and momentum had to be  $E = pc$ . It took until 1923, when A.H. Compton derived the relativistic kinematics for the scattering of photons by free electrons and verified them with his experiment on the scattering of X-rays by electrons, to confirm that photons carried a momentum  $h\nu/c$ . Thus it finally became accepted that the EM radiation behaved as particles when it interacted with matter, that implied using two

conflicting, or perhaps complementary, models for the radiation, because physicists were thinking of particles and EM waves in a sensorial way. Consequently the big issue became how it is possible that if EM radiation is a wave phenomenon, its energy can come in bundles or quanta or be absorbed in finite amounts proportional to the frequency. This dual representation of EM radiation as waves and particles was incomprehensible in 1905, would appear again in QM a few years later as the "wave - particle duality", and prompted Einstein to recognize in 1909, as a result of his analysis of energy fluctuations in a cavity filled with thermal EM radiation, the need of a "theory of light that can be interpreted as a sort of fusion of the wave and quanta theories".

A third landmark in the early development of QP, that can be considered as the beginning of quantum dynamics or mechanics, occurred in 1913, with the publication of N.Bohr's three papers "On the Constitution of Atoms and Molecules". Bohr's aim was to justify the stability of the nuclear model of the atom, developed by E.Rutherford in 1911 as a result of his experiments on the scattering of  $\alpha$ -particles or He nuclei, proposed to quantize the angular momentum of the atomic electrons according to the rule  $L = nh/2\pi$ . In this way Bohr could determine which electronic orbits were allowed or stable, that he called "stationary states", a concept that has been extended to molecules, nuclei and fundamental particles. Bohr then calculated the energy of the stationary states of the H atom using Newtonian dynamics for the electron motion, and advanced the idea that in a transition between two stationary states of energies  $E$  and  $E'$  the atom emitted or absorbed radiation with frequency  $\nu$  given by  $E - E' = h\nu$ , expression that is known as Bohr's relation. In this way Bohr calculated Balmer constant for the H spectrum, an astonishing success.

A few years later it was recognized that, due to momentum conservation, Bohr's equation needs to take into account the recoil energy of the emitter or absorber. Thus depending on whether it is emission or absorption, is  $E - E' = h\nu \pm p_{(recoil)}^2/2M$ , with  $p_{(recoil)} = h\nu/c$  and  $M$  the mass of the recoiling atom or nucleus. The recoil energy is negligible in radiative transitions in atoms ( $h\nu \ll M_{(atom)}c^2$ ), but it may be important in radiative transitions in nuclei ( $h\nu \sim M_{(nucleus)}c^2$ ), though again it is negligible if the nucleus is embedded in a crystal ( $h\nu \ll M_{(crystal)}c^2$ ) (Mössbauer effect); however its experimental verification reinforces the idea of a photon as a "particle" with energy and momentum.

As we know, Bohr's quantization of the angular momentum is not correct and must be replaced by  $L = \sqrt{l(l+1)}h/2\pi$ , but due to a particular

degeneracy, called dynamical or accidental, that assigns the same energy to states with different  $l$  but same  $n$  for motion under Coulomb forces, that Bohr did not know but we do now, his calculation of the energies of the stationary states proved to be correct (to the first order of approximation) and he was able to derive Balmer formula for the spectrum of the H atom in terms of well known constants (e,m,h,c). Bohr's method was soon extended by A. Sommerfeld by quantizing the phase integrals, based on Ehrenfest principle of adiabatic invariance, and could explain quantitatively the Stark and Zeeman effects as well as incorporate relativistic corrections.

Bohr's idea of energy levels and stationary states was extended to the vibration and rotation of molecules, and all the suddenly atomic and molecular spectroscopy, from microwave to X-ray spectra, interpreted as radiative transitions between energy levels became a quantitative science that allowed to obtain very relevant data about atoms and molecules, of importance not only for physics but also for chemistry, medicine, material science, etc. The idea of energy levels and of radiative transitions between stationary states was extended years later to nuclei to explain the nuclear  $\gamma$ -rays spectra and the particles "resonances", in spite of the great disparity of the energies involved, and was a guiding principle for Schrödinger. Thus it must be considered an important landmark in QP.

Soon two major difficulties became apparent and motivated a lot of discussions: (1) how and when an electron determines to change from one stationary state to another, and (2) what happens to the electron and the EM field "during" the transition between two stationary states. The second question is meaningless in QM because we do not need to describe in detail the electronic motion, as Bohr was trying to do using Newtonian mechanics. In fact we know now that we must renounce to that detailed description. During the transition there is an adjustment of the wave function or matter field describing the state of the electron, with the simultaneous creation or annihilation of a quantum of EM radiation or photon. The first question found its explanation years later in QM, but in a somewhat different context, with the notions of transitions probabilities, that can be calculated precisely using QM. However Einstein was again a pioneer by introducing in 1916 the notion of spontaneous and induced radiative transitions, assigning certain coefficients to relate the stationary states involved, that later on were identified with the transition probabilities. By incorporating Bohr's relation into his calculation Einstein obtained the expression for the energy spectrum of blackbody radiation, thus linking Planck's ideas with those of Bohr. However Einstein was not fully happy with the situation and stated that "it is a weakness of the theory that it leaves time and

direction of elementary processes to chance". Besides those concerns, spontaneous and induced transitions are the theoretical foundation of lasers, whose technological applications in communications, medicine signal processing, etc, are used extensively.

Another idea with long term impact, introduced in this first stage of the development of QP, was Bose-Einstein statistics originally proposed by S.N. Bose and refined by Einstein in 1924. B-E applies to system of non-interacting identical "indistinguishable" particles, that later became known as "bosons". Today we assume that all the carriers of interactions are bosons. In general, as required by the connection between spin and statistics established in 1940, we recognize that all particles with integer spin are bosons and that aggregates of bosons must be described by symmetric wave functions. Bose and Einstein showed that when the number of bosons is not constant, Planck's law for blackbody radiation results, not surprising since photons have spin 1 (are described by a transverse EM vector field), leading to the idea of a photon gas. I should note that the idea of indistinguishable particles, that has been incorporated into Fermi-Dirac statistics, proposed by Fermi in 1928 and used by Dirac to determine the symmetry of the wave function of systems of particles, is fundamental in QM, being a natural consequence of QFT, since all "particles" resulting from the quantization of a given "field" must be identical and thus indistinguishable.

Einstein also applied B-E statistics to mono-atomic ideal gases, but what really showed Einstein's physical insight was his statement that a bosonic gas composed of  $N$  particles in volume  $V$  should experience a partial condensation (a ground state of zero energy) below a critical temperature  $T_c = (h^2/2\pi mk)(N/2.612V)^{2/3}$ , the fraction condensed at a lower temperature  $T$  being  $N/N_0 = 1 - (T/T_c)^{3/2}$  which as recognized later, amounted to a phase transition. B-E condensation is possible because although the bosons are assumed non-interacting, they are coupled by the symmetry of the collective wave function. B-E condensation has been the subject of intense experimental research, being associated with HeI-HeII phase transition discovered in 1928, and finally confirmed beyond doubt in 1955 by C. Wieman and E. Cornell. B-E condensation may have many implications in areas such as superfluidity, with potential technological applications. It has even been insinuated that in the primordial universe the B-E condensation of the Higgs bosons (if they exist), gave rise to the mass of the other particles. It must be pointed out that the B-E condensation is a good example of physics at the mesoscopic level.

## THE COMING OF AGE

By 1925 it had been realized that a quantum theory of atomic structure based on Bohr's model

was not fully satisfactory. In the first place Bohr could not go beyond the H atom. Even in that case Bohr's theory could not explain the fine structure of the H spectrum and several ad hoc adjustments were necessary to reproduce experimental results. This led W. Pauli, among others, to propose around 1925, that electrons carry an "intrinsic" angular momentum or spin  $\frac{1}{2} (h/2\pi)$ , which implied an intrinsic magnetic momentum  $eh/2\pi mc$ , as verified experimentally by G. Uhlenbeck and S. Goudsmit. Later on it has been found that all "particles" have an intrinsic angular moment or spin that is either an integer or half-integer of  $h/2\pi$ , called respectively "bosons" (integer spin) and "fermions" (half-integer spin). But what has been most important from the conceptual point of view, is to recognize that the spin of particles can not be associated with the rotation of the particle as a ball, since as I indicated earlier, we do not describe particles as geometric objects, but according to the nature of the "field" associated with the particle: scalar, spinor, vector, tensor. This is another conceptual landmark of QP, showing that we can not transfer to the microscopic world our macroscopic notions.

Pauli made in 1925 another important ad hoc contribution to explain the stability of atomic structure: the "exclusion principle" for electrons, that, in simple terms, states that no two atomic electrons can have the same set of quantum numbers  $n, l, m, m_s$ . This led to the shell model of the atom, that combined with empirical "selection rules" explained the periodic table, atomic and molecular spectra and the origin of characteristic X-rays, allowed to explain the properties of the so-called "rare-earth" elements, clarified the chemical notion of "valence", etc. When QM emerged shortly after, it became clear that the exclusion principle implies that the wave function of a set of electrons must be anti-symmetric in the quantum numbers, including spin. This important idea has been extended by Dirac to all systems composed of indistinguishable identical particles with half-integer spin, that is fermions, and shortly after led to the formulation in 1928 of Fermi-Dirac statistics for fermions. I do not think it is necessary to elaborate on the long range importance of the exclusion principle in its QM formulation, but it must be pointed out that it marked the emergence of a model of the world, composed of two kinds of particles, bosons and fermions, having integral and half-integral spin, obeying two different statistics, B-E and F-D, thus exhibiting two opposite kinds of symmetry, and described by different kinds of fields, another QP landmark.

1925 also marks the birth of QM, first with the work of Heisenberg, Born and Jordan on the matrix version, in which the emphasis was on dynamical variables, represented by matrices that might not be commuting. An alternative treatment, with the emphasis on the stationary states, was elaborated in

the nine seminal papers published by E. Schrödinger between January 1926 and June 1927, in which he presented the formalism that he called "wave-mechanics", that would eliminate the consideration of "micro-mechanical" motions of atomic electrons. Four papers dealt with "Quantizations as a Problem of Proper Values", and the rest dealt with several particular problems. It is interesting to note that Schrödinger confessed that after finishing each paper he had no clear idea of what he was going to elaborate in the next paper. However the amazing result was a theoretical formalism based on the differential equations "in configuration space", that carry his name, that he called "wave or vibration" equation, to determine the state of a system. In those papers Schrödinger successfully applied the equation to the hydrogen atom, the harmonic oscillator and a few other problems, including the method of perturbations, the Stark effect and the non rigid rotator. In one paper he proved his method included the matrix formulation and introduced the idea of associating the operator  $\partial/\partial q$  with the momentum  $p_q$  to justify Heisenbergs commutation rules. Schrödinger's method, in the form refined by Dirac, has been adopted as the standard form of QM. However a few comments are desirable because of their long term implications.

It is important to remember that Schrödinger was looking for a method for which quantization did not have to be an ad hoc assumption and thought that standing "vibrations" was the answer. He started with Hamilton-Jacobi equation,  $H(q, \partial S/\partial q) = E$ , and by making  $S = K \ln \psi$ , and using a variational procedure he obtained the time independent equation  $-(K^2/2m)\nabla^2\psi + V\psi = E\psi$ . Note that Schrödinger first called  $\psi$  a "mechanical field scalar". By inserting for  $V$  the Coulomb potential, imposing the proper boundary conditions that restrict the values of  $E$ , and making  $K = h/2\pi$  he obtained Bohr's formula for the  $H$  energy levels. Schrödinger was emphatic that "the equation is stated for purely periodic vibrations *sinusoidal* with respect to time". Thus in his second paper he introduced the relations  $\nu = E/h$  and  $\lambda = h/\sqrt{2m(E-V)} = h/mv$  for a standing wave system associated with the motion of the particle, that would oscillate according to a "sine" law,  $\sin 2\pi Et/h$ , that is  $\psi(x,t) = \psi_E(x) \cdot \sin 2\pi Et/h$ .

Consequently Schrödinger wrote the "wave" equation  $\nabla^2\psi - 2m[(E-V)/E^2][\partial^2\psi/\partial t^2] = 0$  for the "mechanical field scalar"  $\psi$ . It had to be of second order in time to repeat the sinusoidal time factor, that could be separated for standing vibrations. He saw the logical difficulties with his equation and in his fourth paper, in an interesting heuristic reasoning, replaced it by  $-(h^2/8\pi^2m)\nabla^2\psi + V\psi = i(h/2\pi)\partial\psi/\partial t$ , in the current notation; this is the standard time-dependent Schrödinger equation for his scalar

"mechanical field" still in use, but this time he called  $\psi$  a "wave function". This adjustment had two momentous consequences that influenced the future development of QM. One is that the equation is of first order in time and therefore does not describe a scalar field that can propagate as a traveling wave. Unfortunately the name "wave equation" has remained in use. The second is that the scalar field  $\psi$  is complex, depending on time as  $\exp 2\pi i Et/h$ , that is  $\psi(x,t) = \psi_E(x)\exp 2\pi i Et/h$ , and therefore is not an observable; this originated an intense discussion that was settled by M. Born probabilistic interpretation of  $|\psi|^2$ , that I do not need to discuss here, and led, as Schrödinger had already insinuated in his papers, to accept that we can not describe the dynamics of an atomic electron in terms of Newtonian orbits, as Bohr and Sommerfeld had attempted years earlier.

It is interesting to note at this point that Schrödinger acknowledged in his first paper that he had been inspired by de Broglie's original idea, expressed in his Thesis of 1924, of a "pilot wave" of wavelength  $\lambda = h/mv$ , that would guide the atomic electrons in their motion around the nucleus, but he also pointed out that while de Broglie was thinking of "progressive" waves, his idea was of stationary proper "vibrations" in the atom, described by the field  $\psi$ , "which more nearly approach reality than the electronic orbits...existence of which is being very much questioned". In his sixth paper Schrödinger stated the need "to ascribe to  $\psi$  a physical, namely electromagnetic, meaning" so that "a  $\psi$ -distribution in configuration space is interpreted as a continuous distribution of electricity...in actual space".

This was the origin of the famous and controversial "wave-particle" duality for "particles", that became incorporated into QM. This has been most unfortunate because the correct statement should be "dual field particle description", since all "particles" have a field associated with them, and depending on the process we must use the "particle" or the "field" approach. Only particles with zero mass, as is the case of the photon, are described relativistically by a true "wave" equation and thus exhibited dual wave-particle behavior. The situation became more confusing when in 1927 C.J. Davisson and L.H. Germer in the U.S. and G.P. Thompson in G.B. obtained with electrons diffraction patterns similar to those with x-rays, that were interpreted as showing wave-like behavior of electrons, ignoring that the distortion of a free electron field of defined energy, and thus definite frequency, may show that kind of pattern, even if strictly it is not a wave.

Up to this point QM had developed almost by trial and error. It was P.A.M. Dirac who in 1927 gave QM a formal and beautiful structure, based on what he called transformation theory, using operators to represent observables and his famous ket  $|\alpha\rangle$  and bra

$\langle \alpha |$  vectors for designing the states in configuration (Hilbert) space. In this formulation Schrödinger's equations and field  $\psi$  appear naturally when the  $q$ -representation is used. Dirac's formal theory is now universally accepted as the methodological foundation of QM, and placed QM on the same footing at the microscopic level as the Newton-Maxwell formalism had done at the macroscopic level.

Dirac's formulation, in 1928, of the relativistic quantum equation of an electron, that in the presence of an EM field is 
$$\left[ \sum_{\mu} \gamma_{\mu} (p_{\mu} + (e/c)A_{\mu}) - imc \right] \psi = 0,$$

where  $p_{\mu} = -(i\hbar/2\pi)\partial_{\mu}$ , and  $A_{\mu}$  is the 4-vector potential, was the next crucial development in QP. As is well known, Dirac's guiding principle was to obtain a relativistic equation of first order in the time derivative, in order to preserve the dynamical law  $H\psi = i(\hbar/2\pi)\partial\psi/\partial t$ , for which it had to be also of first order in the momenta  $p_{\mu}$ . This required to introduce the non commuting fourth order matrices  $\gamma_{\mu}$  and the field  $\psi$  had to be a spinor. With the field  $\psi$  and the  $\gamma$  matrices he could form bilinear forms that under a Lorentz transformation behaved like a scalar, a vector, a tensor, an axial vector and a pseudo-scalar. Dirac's formalism has become essential in QP of particles and fields, that requires that all equations be invariant under a Lorentz transformation. Besides Dirac obtained the correct value for the electron spin and magnetic moment, the spin-orbit interaction and the relativistic H energy levels, though radiative corrections had to be added later on. There is much to say about Dirac's formalism, and one of its first applications was to obtain the energy spectrum of the electrons in  $\beta$ -decay, a theory first formulated by Fermi in 1934, that led to the introduction of a new particle, the neutrino, to assure energy conservation, and implied the existence of a "weak" interaction, different from EM. There is no question in my mind that Schrödinger and Dirac contributions are two of the most significant landmarks in the evolution of QP.

An unexpected result from Dirac's equation was the existence of negative energy states, that could not be ignored for mathematical consistency, but posed a difficulty: negative energy states of free particles are not observed. In 1930 Dirac proposed the vacuum was a condition in which all negative energy states are occupied by electrons, that were unobservable, but if an electron was raised to a positive energy state it left behind a "hole" that behaved like a positive electron or "positron", a particle first observed in 1934 by C.D. Anderson. Positrons are emitted by many radioactive nuclei and have found many applications such as in "positron emitters tomography" (PET) used in hospitals and are used in accelerators such as CERN's Large electron Positron (LEP) collider, now about to be closed down. Positrons are also called "antiparticles", a name introduced by de Broglie in 1934. It is accepted

that all particles have an anti-particles except that in some instances the particles and anti-particles are identical, as is the case with the photon.

To express in terms of the QP formalism the interaction of EM radiation and charged particles, Dirac using ideas proposed earlier by Born, Heisenberg and Jordan, proceeded to formulate what has become to be known as quantum electrodynamics (QED), and more generally the quantum field theory (QFT), that has shaped the evolution of QP since, and even more, how we model the functioning of the universe at the fundamental level. QFT has been developed over the years by many creative physicists such as Feynmann, Dyson, Weinberg, Salam, etc. In a nutshell, the basic ideas are the following: (1) all "particles" are associated with "fields", and presumably the converse is also true; (2) the "fields" are represented by operators that obey commutation relations, that depend on whether the associated "particles" are bosons or fermions; (3) the "fields" are expressed by a Lagrangian equation that contains some or the parameters associated with the "particles", such as the mass; (4) the "field" operators can create or annihilate "particles", allowing for the many processes we observe; (5) to describe the fundamental processes occurring in nature, "fields" must interact with each other; (6) the interaction is carried by "virtual" field particles. For example the Lagrangian describing the interaction between electrons and the EM field contains the spinor fields related to the electrons, the vector field related to EM, and a coupling term involving both fields, and the Lagrangian of two electrons contains coupling terms with the spinors of the two particles, the interaction being carried by "virtual" photons. This model has been represented very effectively by Feynman's diagrams that can be used as guide for calculating a process. It is this coupling that really contains the physics of the problem and makes the theory very interesting.

QFT, and in particular QED, has been extraordinarily successful describing with extraordinary precision high energy processes. For example QED has permitted to calculate the radiative corrections to the H energy levels (Lamb-rethford shift, discovered in 1947) and the ionization energy of He with an error of  $10^{-9}$ , and the magnetic moment of the electron with an error of  $4 \times 10^{-12}$ . Other processes such as electron-positron production by photons and their annihilation into photons, Compton scattering (Klein-Nishina), etc, have been calculated precisely. In spite of its successes, QED still has some problems, such as the need to appeal to renormalization procedures, a methodology initiated in 1948 to take care of some divergences that appear in the perturbation calculations. However QED is accepted as a well established theory and its basic ideas have been extended to QFT in general. A similar theory to

explain the quark structure of hadrons, quantum chromodynamics (QCD), to which I will refer later on, has been developed since the introduction in 1964 of the standard model of particles. Therefore I think it is safe to say that presently we can consider that the fundamental entities in QP are the "fields", that in their quantized form give rise to "particles", and all fundamental processes can be explained in terms of the "interactions" among the fields. Find the interaction and you have the solution to the problem.

We can affirm that thanks to Dirac, and several other physicists (Feynman, Wigner, Schwinger, Tomonaga, etc.) by the end of the 1950's QM had become a formal theory with great predictive capability that could reproduce with extraordinary precision many experimental results and explain the main features of atomic and molecular structure and even of large aggregates of atoms or molecules. Perhaps the most spectacular related aspect of QM has been the application of band theory to explain the electric properties of solids, particularly conductors and semiconductors. That marked the beginning of what has become known as solid state physics, and more recently as condensed matter physics. This is the area where QP has had more technological impact after the development of transistors and compact integrated circuits called "chips" the essential components for any gadget that needs to process signals and data. Our lives are fully dependent on chips: computers, radios, TV, cameras, cars, phones, imaging devices, etc., that depend on the quantum structure of solids. However at the end of the 1950's QM was not a closed theory, and remained open to new ideas.

## PARALLEL DEVELOPMENTS

While QM mechanics proved to be highly successful in explaining atomic, molecular and solid structure and radiative processes, it proved more difficult to explain nuclear structure. Several developments related to nuclear structure and processes took place since Rutherford's experiments in 1911. After J. Chadwick experiments in 1932, it was accepted that nuclei were composed of protons and neutrons, called "nucleons" since 1941, and a lot of empirical properties about nuclei was gathered, but QM formalism in terms of Schrödinger equation was not able to fully explain in terms of a potential, the simplest of all nuclei, the deuteron, a two-body system, even less complex nuclei, that are many-body systems with no dominant central force. It was accepted that the nuclear interaction was much stronger than the EM interaction and that it was of short range but no potential could be found for it.

In fact several empirical potentials were tried to explain the deuteron and nucleon-nucleon scattering: potential wells, with and without hard core, Yukawa potential, a tensor interaction coupling the spins of the two nucleons, even velocity dependant potential,

to be inserted in the Schrödinger equation. Some concrete results were obtained but no general theory emerged. Much later it became recognized that the "nuclear" interaction is a "residual" force from what is now called the "strong" interaction, that exists between some particles, now called "hadrons", similar to the residual electric interaction between molecules. The inevitable conclusion was that the "strong" interaction could not be treated by using a potential function, as had been done for charged particles, and that Schrödinger equation was not adequate for that interaction. This was not a failure for QP, but of the formalism used to deal with the strong interaction, as it had happened earlier with the weak interaction.

Nonetheless several ideas based on QM for explaining some features of nuclear structure, were put forward. C.V. Weiszacker proposed in 1935 an empirical equation for the binding energy of nuclei, that proved very useful for discussing nuclear fission. In 1939 N. Bohr and J.A. Wheeler suggested that nuclei could be treated as liquid drops and applied the model to explain the nuclear fission of the U isotopes; a result that was crucial for the development of the nuclear bomb, and later for the controlled release of nuclear energy in nuclear reactors. Between 1948 and 1955 M. G. Mayer, J.H.D. Jensen and others elaborated a nuclear shell model similar to the atomic shell structure but with a strong spin-orbit interaction of opposite sign, so that the nuclear states were designed by  $n, l, j$ . The model, elaborated later on in more detail by T. Talmi and A. de Shalit, and still in use, could reproduce fairly well the spin and energy level distribution in many nuclei, including the "magic numbers" or more stable nuclei, and the EM spectrum associated with single nucleon transitions, but it lacked a general explanation of how to calculate the energy levels. Besides many nuclei in between magic numbers, such as the rare earths, showed a spectrum very similar to that corresponding to the vibrational and rotational molecular spectra, and exhibited large electric quadrupole moments, suggesting that those nuclei were deformed and experienced collective vibrations and rotations, but not necessarily as rigid bodies. This idea was developed in great detail in 1952/53 by A. Bohr and B. Mottelson. Shortly after, it was recognized that the shell model, that assumes independent particles states, and the collective model, that implies collective degrees of freedom of strongly coupled particles, are complementary, resulting in a unified model, for which the techniques of QM were necessary. However, in spite of all those developments, still no satisfactory quantum theory of the strong interaction was yet available.

During the same period of time that physicists struggled with nuclear theory. Laboratories for dealing with nuclear and particles experimental physics were established in several parts of the world

(US, Europe, Soviet Union, Japan). Cosmic rays were a source of new particles and led to the discovery of pions and muons. New particle accelerators (synchrotrons, synchrocyclotrons, linear accelerators), each with more energy and luminosity or beam intensity, were built. Several particle detectors (emulsions, bubble chambers, spark chambers, particle calorimeters) were designed, nuclear reactors became strong sources of neutrons. The existence of neutrinos was confirmed experimentally by Cowan and Reines in 1950. Pion-muon decay was first observed in cosmic rays in 1947, and explained using a theory similar to that for  $\beta$ -decay. Antiprotons and anti-neutrons were observed in 1955 and 1956 respectively and produced in the laboratory. And more than 100 of new unstable "particles", later on called "resonances", most having extremely short half-lives, were produced in the accelerators or identified in cosmic rays. The role of symmetries in all these results, in the context of the CPT theorem, was closely analyzed for possible violations and several empirical rules were proposed for explaining the observed processes. This was a very exciting period in need of new ideas. Needless to say QM techniques were most useful for analyzing those experimental results.

## NEW IDEAS

Since 1960 several important ideas have been introduced, aimed mostly to incorporate the weak and strong interactions into the scheme of QFT and particle physics, and to formulate a "grand" unified fields theory (GUT) of the three interactions: EM, weak and strong. Because their conceptual impact. I will review them without entering into great details. In the first place it became clear that there was a big difference between the masses of particles, that became grouped into "baryons", "mesons", and "leptons", term introduced in 1946. Second, it became also clear that only some particles (baryons and mesons) were susceptible to the "strong" interaction, and in 1962 they were called "hadrons". Third, to be consistent with QFT, it was necessary to identify the bosons responsible for the weak and strong interactions, as the photons are for the EM. And what was more exciting: after experiments such as deep inelastic scattering of electrons by protons, it was concluded that hadrons were not so elementary and might have a structure, that could explain the resonances spectrum, while the leptons were structureless particles, not affected by the strong interactions.

Beside the extraordinary progress in experimental techniques since 1960, the two major and closely related conceptual developments of QP, that contributed most to a simpler and coherent model of matter at the fundamental level, were the formulation, based on group theory considerations, of the quark model of hadrons, by M. Gell-Mann and

G. Zweig in 1964, and of the electro-weak fields theory (EWFT) that blended EM and weak interactions, using the Lagrangian formalism of QFT, by S.L. Glashow, A. Salam and S. Weinberg in 1968. Eventually these two developments led to the emergence in 1977 of the Standard Model of elementary particles, that asserts that the world is made up of "elementary" fermions interacting through fields, of which they are the sources, by means of the exchange of bosons, thus providing a coherent view of the world at the fundamental level based on QFT. The conceptual and practical importance of the Standard Model for understanding the world is comparable to that of the nuclear model of the atom developed about 60 years earlier. Most of the tenets of the Standard model have been verified experimentally.

In a nutshell, the Standard Model assumes that the electric and weak interactions between fermions are carried by four vector bosons of spin 1: the photon, with no mass, and the  $W^+$ ,  $W^-$  and  $Z^0$  bosons with masses of the order of 90 GeV, as required by the short range, about  $10^{-3}$  fm, of the weak interaction, (recall the relation  $\Delta E \Delta t \approx h/2\pi$ , and make  $\Delta E = Mc^2$  and  $\Delta x = c\Delta t$ ), while the strong interaction is carried by eight "gluons" of zero mass, and thus infinite range, and spin 1. In turn the basic fermions are six leptons: electron  $e^-$ , muon  $\mu^-$ , and tau  $\tau^-$ , and their corresponding neutrinos,  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\nu_\tau$  (see Table), and six "flavors" of quarks (up, down, charm, strange, top and bottom) with fractional "electric" charge  $\pm 2e/3$  and  $\pm e/3$  (see Table), and three kinds of "strong charge" or "color" called "red", "green" and "blue". The "color" is carried by the gluons, that have the additional property of "confinement" because the quark/gluon interaction increases at distances above 1 fm, making virtually impossible to observe free quarks and gluons, that have to be recognized by their "signatures", as it happened in 1995 with the top quark at Fermilab. Also at distances less than about 0.2 fm the interaction is so small that quarks and gluons can be considered approximately free particles; this is called "asymptotic freedom". To the above list we must add the anti-particles. This may be seen very elaborate but the beauty is that it provides a rather simple view of the universe at the fundamental level, that explains most fundamental processes and is subject to quantitative analysis and experimental verification. For completeness I will elaborate some of the features of the model, without going into great detail, because the subject is well known.

First, all systems composed of quarks, are hadrons, that can be of two kinds, baryons and mesons. Baryons are composed of three quarks and mesons are composed of a quark and an antiquark, in combinations that are colorless (the stable combinations must be colorless in the same sense that atoms are electrically neutral) held together by the exchange of colored gluons. Two colorless hadrons feel practically no strong force except when

they are very close, in which case they experience a "residual force", which is of short range (this is similar to interatomic and intermolecular forces, that are residual electrical forces). Second, quarks are arranged in hadrons in a form similar to the shell structure of atoms and nuclei. Excited states of hadrons, in which the quarks are in higher energy shells give rise to all resonances that have been observed. Third, the hadrons are actually clusters or soups containing the quarks, the gluons that jump among them, and several "virtual" pairs of particles that appear and disappear very fast. It is this rather dynamical structure of hadrons that gives rise to the richness of particle physics processes. An interesting result of the Standard Model is that it has brought the quark energy levels in hadrons in line with the nucleonic energy level in nuclei and the electronic levels in atoms, molecules and solids, although we are dealing with highly different energy levels, from eV up to GeV.

**TABLE 1**

**IS THERE A 'STORY LINE' IN PHYSICS ?**

YES at the MICRO-level

NO at the MACRO-level

**Basic Assumptions**

- 1) The world is composed of distinguishable "units", called "particles", with well defined properties.
- 2) There are a few fundamental "interactions" (4 or less?)
- 3) Interactions are described by means of "fields", that in General are time-dependent, and some propagate in space as "waves".
- 4) Interactions "conserve" certain physical magnitudes.
- 5) Conservation laws are related to "symmetries" observed in the Universe.

I do not want to leave the impression that the SM is only descriptive. To allow quantitative analysis, the SM has been framed into the format of QFT using the gauge theories. While a QFT for the electro-weak interaction field theory (EWFT) has been developed, the strong interaction requires a new gauge field theory, called Quantum Chromo-dynamics (QCD). The mathematical procedure to transform the phenomenological electroweak and strong interactions into a QFT has been to developed relativistic and gauge invariant quantum Lagrangians for particles with mass, that contain an interaction part and are renormalizable, for wich the pioneering work on non Abelian gauge theories by C. N. Yang and R.L. Mills in 1954, and the idea of symmetry breaking based on the mechanism proposed by P.Higgs in 1964 (although P.W. Anderson had suggested a similar mechanism in 1963) were fundamental.

For the sake of those not familiar with Higgs mathematical procedure for breaking the symmetry of the vacuum I will illustrate a particular simple case. Let us start with a Lagrangian with a scalar complex field  $\Phi$  and mass  $m$ ,  $L = \partial_\mu \Phi^* \partial^\mu \Phi - V(\Phi^* \Phi)$ . Usually  $V = m^2 \Phi^* \Phi$  so that the vacuum state for this Lagrangian is  $\Phi = 0$ , but then the Lagrangian is not renormalizable. Suppose we make  $V = (m^2/2\Phi_0^2) [\Phi^* \Phi - \Phi_0^2]^2$ , where  $\Phi_0$  is a real adjustable parameter. The state  $\Phi = 0$  is not stable because the field energy density  $1/2 m^2 \Phi_0^2$  is a maximum. Instead the minimum energy or stable vacuum state corresponds to  $\Phi^* \Phi = \Phi_0^2$ , that in the  $\Phi$  complex plane is a circle of radius  $\Phi_0$ , making the vacuum a stable but degenerate state. The degeneracy is broken locally if we chose a ground state  $\Phi(\phi_0, 0)$ , which is equivalent to a local symmetry breaking. To allow moving out of the vacuum we expand  $\Phi$  around this point by adding a field  $h$ , that is  $\Phi = \phi_0 + h/2^{1/2}$  where  $h$  is a symmetry breaking field, generically known as the Higgs field or H-field, and insert this  $\Phi$  into the Lagrangian. The result is a renormalizable Lagrangian with a scalar spin-zero boson of mass  $2^{1/2} m$ , the Higgs boson, associated with the H-field. If we add in the Lagrangian a massless vector gauge field  $A_\mu$ , with a coupling coefficient  $q$ , the result is a new Lagrangian corresponding to a spinless scalar boson of mass  $2^{1/2} m$  and a vector boson of mass  $2^{1/2} q \phi_0$ .

The important aspect of Higgs mechanism is that it allows particles with mass in a renormalizable Lagrangian, as proved by G.t'Hoff in 1971. In the EWFT it is said that the H-field is responsible for the mass of the  $W^\pm$  and  $Z^0$  bosons, and in QCD the H-field gives mass to the quarks. The search for the scalar H-boson, whose mass is assumed to be larger than 100 GeV, has been going on for many years with no succes. Just on Nov.2 CERN authorities decided to stop the search for the H-boson in their LEP collider, that will be dismantled and replaced by a large hadron collider (LHC) to be built in the same place, though the search will continue at Fermilab.

**MORE NEW IDEAS**

However QFT is not closed and there are still many open ends that are areas of active research, that hopefully will find answers in the 21th century. Physicists, in the quest for simplicity, unity and symmetry, are looking for a Grand Unification Theory (GUT), that will merge the EWFT and QCD into a single unified theory with a higher order of symmetry. GUT implies new quantum properties of particles, such as photon decay, whose half-life is estimated at  $10^{31}$  years, much longer than the estimated age of the universe, X-gluons that would convert quarks into

leptons and conversely, several Higgs fields, monopoles, spaces with more than four dimensions, etc. Some progress has been made in this direction but still is an open question.

Another open end question is the inclusion of Gravitation into the format of QFT. A QFT of gravitation that is GQFT, would require the existence of a "particle" or boson with spin two, the "gravitation", to carry the gravitational interaction. This boson has not been observed. However there are good reasons to believe that there are gravitational waves, since any disturbance in a gravitational field must propagate in space. Moreover, Einstein's field theory of gravitation is not renormalizable. More challenging is to try to unify gravitation with the other interactions, that is, unify GQFT with GUT, thus reducing the diversity of forces to a single fundamental unifying force. Many interesting ideas for such super-grand unification, such as the possibility of transforming fermionic fields into bosonic fields and conversely, giving rise to a single "superfield", resulting what is called supersymmetry. Of course to reproduce the observed world, the supersymmetry has to be broken by super-Higgs fields. A constellation of new fields and particles (gravitinos, leptinos, photinos, quarkinos, higgisinos, etc.) have been proposed. However no concrete results have been obtained yet. Again, this is a problem for the 21th Century.

Personally I have the feeling that gravitation can not be incorporated into QFT for the simple reason that, according to the general theory of relativity, gravitation is expressed in terms of a distortion in the metric of space-time due to the mass distribution, the dynamical consequence being "gravitational" forces extremely small compared with the three other interactions. Only, at energies of the order of Planck's energy  $(hc^5/2\pi G)^{1/2} \approx 10^{19}$  GeV and distances of the order of Planck's length  $(hG/2\pi c^3)^{1/2} \approx 10^{-35}$  m, as may have existed at the time of the Big Bang and may be possible in the vicinity of massive objects such as black holes, gravitation can become comparable to the other interactions and a quantum field theory of gravitation might make sense. But again I leave that problem for the next generation of physicists. As a footnote, it may be recalled that since the 1920's until his death in 1955, Einstein tried unsuccessfully to unify gravitation and electromagnetism.

## OTHER QUESTIONS

During the 100 years of development of QP many interesting questions, that perhaps may be considered "philosophical", have been raised and continue to be raised, motivated perhaps because some try to look at the tenets of QM in a macroscopic context. I will briefly mention three of them because of their special interest. However, personally I should say I am quite happy with QP as a rather successful paradigm for describing the world

at the fundamental level and thus avoid that kind of philosophical considerations, that though important are not necessary for dealing with concrete problems related to matter and radiation.

One of the most critical issues raised at the beginning of QM was the meaning of the "wave function"  $\psi$ , that Schrödinger assumed originally represented a sort of stationary vibrations in the atom. However  $\psi$  is a complex function and is not an observable. In 1926 M. Born proposed that  $|\psi|^2$  corresponds to the probability of finding an electron around point  $x,t$ . This suggestion was accepted and combined with Heisenberg's uncertainty principle led to the probabilistic interpretation of QM, that has been the source of many discussions. The fact is that QM is deterministic in its own probabilistic way, which is not the same as the probability of random events, and causality takes its own form in QM.

Another issue, still considered by many, is what is the "meaning" of QM, or in other terms, what "reality" is described by QM. This issue began in 1927 with a discussion between Einstein and Bohr, reached a climax in 1935 with the Einstein-Podolski-Rosen paradox (that is not a paradox), and has continued until now. I have no time to elaborate on this issue, that requires to define first what is understood by "reality" in physics. I would like to point out that I consider there are three "physics" "realities": an "objective" reality independent of the observer, the "observed" reality, which is the result of observations and measurements, that may change as observations techniques improve, and the "perceived" reality, which is our mental construct or interpretation of observations and measurements, and often depends on previous perceived realities. The problem is that for the "perceived" reality we use sensorial or macroscopic notions, that may not be applicable at the microscopic fundamental level, but even so we have been able to develop a formalism, QM, that is adequate for the description of nature at the fundamental level based on the "observed" reality. However from a rigorous point of view we can not ignore the role of the observer, that in the quest for an "observed" reality may affect the state of the observed system and thus change the "objective" reality.

An issue closely related to the previous one, and currently of great interest, is that of "separability" and "entanglement", about which a lot is being written. For example, if we have a system composed of two "interacting" subsystems 1 and 2, the wave function of the system is some combination of the wave functions for the states of the two subsystems. If I make a measurement on one subsystem, say 1, I may alter its state, and depending on the symmetry of the whole wave function and the strenght of the interaction, the state of system 2 must also change. That is the states of the two interacting systems are

entangled, even if they appear separated. As expressed in 1935 by Schrödinger, this "is the characteristic trait of QM". The problem begins when the two systems separate a great distance, so that their interaction decreases to a very small value. I say that in that case the entanglement also tends to disappear, but others I am sure have a different opinion and introduce a series of notions such as "hidden variables" and "teleportation", about which I do not want to argue. There is a very rich literature on the subject that those interested can consult.

An interesting point, worth speculating, is whether QM can contribute to understand life phenomena, that depend very critically on many physical factors, chemical elements and processes that occur in carbon based living systems. Living systems are very special open adaptive complex systems that, as Jacques Monod has indicated, have three characteristics, not found in inert matter: teleonomy, autonomous morphogenesis and reproductive invariance. Nevertheless the functioning of living systems obeys the laws of inert matter, though it depends on the activity of a few chemical elements. The most important elements are carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen, that appear in several compounds. But equally important is that the energy available to those elements and their compounds must be closely related to their quantum stationary states, otherwise they would not be stable or react. The Anthropic Principle (of which there are several versions) speculated on this point by analyzing how the values of some physical quantities, related to the fundamental components of the world, make life possible, or were designed to make carbon-based life possible, at some time during the evolution of the universe. Living beings are highly complex and unstable but predictable systems that depend for their organization and functioning on many elaborate molecular interactions to which QM formalism applies. The brain in particular is a most complex system that functions by moving electrons around potential barriers according to QM, and is regulated by ions carried by several molecular compounds across electric potential differences. What physical processes at the molecular level account, for example, for the memory and, in general, for

cognition is not known. So it seems reasonable to expect that physicists in the next century, working with biologists, will find new insights about life by applying QM to biological processes and place quantum biology on a sound basis.

On the more practical side, an area in which QP may have an important impact during the next century is "quantum computation". The basic idea is very simple. A system with only two states, such as an electron having spin up or down in a magnetic field, may be used for manipulating quantum bits or "qubits". One state would designate 0 and the other 1 in the binary language of the computer. However the implementation of this interesting idea is still in its early infancy and it is very risky to try to predict its future, although a lot of theoretical work is going on this subject and in its related area, cryptography.

Finally, now "miniaturization" is the marching order for the design of micro-electronic devices and the question is "How far can we go in the miniaturization efforts without violating the basic principles of QM and conflicting with the Uncertainty Principle? Time will tell.

## EPILOGUE

In concluding I would like say that during the 20<sup>th</sup> century QP has given us a coherent, reliable and simple picture of the microscopic world, that escapes our direct sensorial experience, and has required to depart from many conceptions that are a result of such sensorial experiences of were inherited from past centuries, but that we still apply to the macroscopic world. The QM picture of the world is still unfinished and nobody can predict what new ideas will emerge or even if a new world model will be designed. Science is by its own nature a very dynamic and evolving endeavor in which the creativity and skills of human beings play a fundamental but unpredictable role. Next century physicists will have an important role regarding our view of the world, by refining and playing with the formalism of QP they have developed this century and applying it to a variety of old and new issues.

# INFLUENCIA DEL RUIDO ESPECTRAL EN LOS PROCESOS DE REGISTRO Y BORRADO DE HOLOGRAMAS EN CRISTALES FOTORREFRACTIVOS DE $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$

Aurelio A. Oliva y Lisset Rubiera<sup>1</sup>, Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio experimental de los procesos de registro y borrado de hologramas en un cristal fotorrefractivo de  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ , bajo la influencia de ruido espectral óptico. Se utiliza como fuente de luz coherente un láser de He-Ne operando en la zona roja del espectro (632.8 nm). Como fuentes de ruido óptico se emplean el nivel de iluminación del laboratorio (luz blanca) y diferentes niveles de intensidad de 5 diodos emisores de luz (LED) de alto brillo.

## ABSTRACT

In this work it is presented the results of an experimental study of the registration processes and erased of holograms in a glass fotorrefractivo of  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ , under the influence of optic ghaslyly noise. It is used as source of coherent light a laser of Have-Ne operating in the red area of the spectrum (632.8 nm). As sources of optic noise they are used the level of illumination of the laboratory (white light) and different levels of intensity of 5 issuing diodes of light (LED) of high shine.

## INTRODUCCION

Los cristales fotorrefractivos constituyen un medio de registro holográfico reversible que presenta la ventaja de que puede utilizarse un número prácticamente infinito de veces, pues no se deteriora con el uso como otros materiales reversibles (placas termoplásticas, por ejemplo) [1]. Para la obtención de hologramas en tiempo real utilizando como medio de registro uno de estos cristales fotorrefractivos, es importante conocer la influencia de la iluminación que no constituye señal sobre la estabilidad de los parámetros dinámicos del cristal (tiempo de registro, borrado y memoria) debido a que estos últimos muestran una "inercia" significativa, lo cual permite

realizar los trabajos no necesariamente en absoluta oscuridad, sino con cierto nivel de iluminación ambiente.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio experimental de los procesos de registro y borrado de hologramas en un cristal fotorrefractivo de  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ , bajo la influencia de ruido espectral óptico

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la Figura 1 se muestra el esquema del montaje óptico empleado para realizar el estudio de los procesos de registro y borrado de hologramas en el cristal fotorrefractivo de  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  utilizado en este trabajo bajo la influencia de ruido óptico.

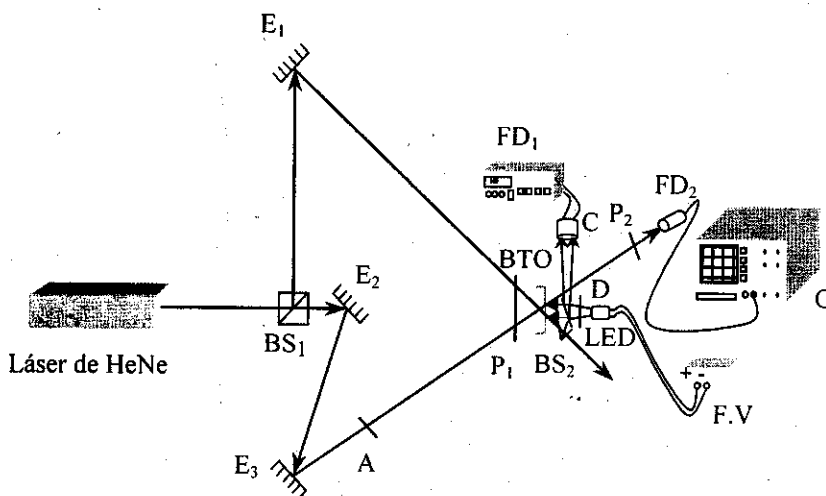


Figura 1.

Esquema de la instalación óptica empleada para la medición de los parámetros dinámicos del cristal BTO.

La salida de un láser de He-Ne operando a 632.8 nm con 2.5 mW de potencia, es dividida en dos haces por medio del beam splitter BS<sub>1</sub>: el haz de referencia que llega al espejo E<sub>1</sub> y el haz objeto que incide sobre el espejo E<sub>3</sub> luego de sufrir reflexión por E<sub>2</sub>. La relación de intensidades de los haces objeto y referencia se procuró mantenerla cerca de la unidad, para lo que se empleó el atenuador variable A. El polarizador P<sub>1</sub> asegura que los ejes de polarización de los haces objeto y referencia sean paralelos al plano (110) del cristal, correspondiente a la dirección de máxima eficiencia del mismo.

El cristal BTO se ilumina uniformemente por la luz proveniente de un LED de longitud de onda conocida luego de pasar a través de un difusor D. El BS<sub>2</sub> se utiliza para enviar un 50 % de esta luz sobre el cabezal C del fotodetector FD<sub>1</sub> con el objetivo de conocer los diferentes niveles de intensidad a que se expone el cristal para cada longitud de onda. El eje del polarizador P<sub>2</sub> se orienta de tal forma que al fotodetector FD<sub>2</sub> sólo llegue la componente de luz difractada del haz de referencia en la dirección del haz objeto por la red de fase formada en el cristal. La respuesta del fotodetector FD<sub>2</sub>, es una señal de voltaje proporcional a la intensidad luminosa que éste detecta, la cual es registrada y medida en el osciloscopio O. Este mismo montaje representado en la Figura 1 fue utilizado para obtener los diferentes procesos sometiendo el cristal a la iluminación del laboratorio, correspondiente como ya se mencionó a luz blanca.

#### Procedimientos para la medición de los parámetros correspondientes a los procesos de registro y borrado

Los procesos se llevaron a cabo en ausencia de ruido óptico y bajo la influencia de éste. Como fuentes de ruido óptico se emplearon el nivel de iluminación del laboratorio (luz blanca) y diferentes niveles de intensidad de 5 diodos emisores de luz (LED) de alto brillo, con longitudes de onda correspondientes al azul (464.7 nm), amarillo - verdoso (566.7 nm), amarillo (582.2 nm), rojo (653.8 nm) e infrarrojo (933.1 nm). Para cada longitud de onda

se tomaron cuatro niveles de intensidad (NR), cuyos valores son: NR1 =  $1.08 \times 10^{-5}$  W/cm<sup>2</sup>, NR2 =  $2.16 \times 10^{-5}$  W/cm<sup>2</sup>, NR3 =  $3.24 \times 10^{-5}$  W/cm<sup>2</sup>, NR4 =  $4.32 \times 10^{-5}$  W/cm<sup>2</sup>. El nivel de intensidad medido para la luz blanca fue de  $2.5 \times 10^{-5}$  W/cm<sup>2</sup>.

#### Proceso de registro del holograma

Para el registro de un holograma en el cristal BTO utilizado, primeramente se interrumpe el haz de referencia con una pantalla opaca de tal forma que sobre dicho cristal sólo incida el haz objeto, cuya intensidad se mide con FD<sub>2</sub>. Al retirar la pantalla se produce la interferencia de ambos haces dentro del cristal y comienza a formarse un holograma de volumen y fase cuya lectura se realiza con el FD<sub>2</sub> y se registra en la pantalla del osciloscopio, de la cual se toman las mediciones. Ambos procesos de formación y lectura del holograma se pueden llevar a cabo simultáneamente gracias al efecto de autodifracción anisotrópica en el cristal [2]. Entre un registro y otro, se realizó el borrado del holograma dejando transcurrir un intervalo de tiempo de 3 minutos manteniendo el cristal iluminado con el haz objeto con el objetivo de garantizar iguales condiciones en cada medición. Los procedimientos anteriores se repitieron sometiendo el cristal a la influencia de cada nivel de ruido empleado.

#### Proceso de borrado

Cuando se alcanza el valor máximo de la señal correspondiente a la formación del holograma, se procede a interrumpir el haz objeto dejando que incida sobre el cristal sólo el haz de referencia, obteniéndose a la salida la componente difractada de este haz en la dirección del haz objeto. Este proceso provoca el borrado del holograma y se registra en la pantalla del osciloscopio, de donde se toman las mediciones. Esto se repite manteniendo el cristal iluminado con el haz de ruido.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Los gráficos 1.1-1.2 y 1.3-1.4 muestran los procesos de registro y borrado respectivamente de

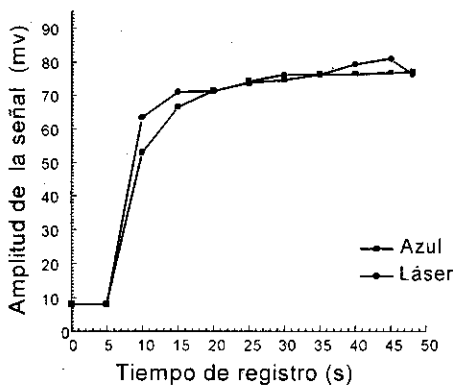


Gráfico 1.1. Proceso de registro bajo la influencia de luz azul con un NR =  $4.32 \times 10^{-5}$  W/cm<sup>2</sup>.

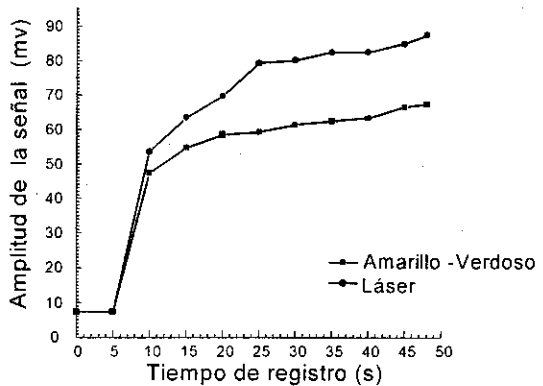
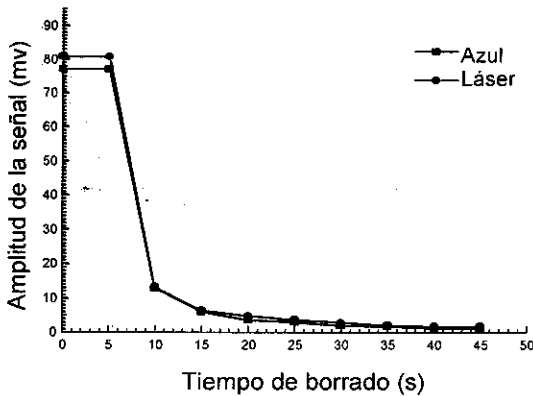
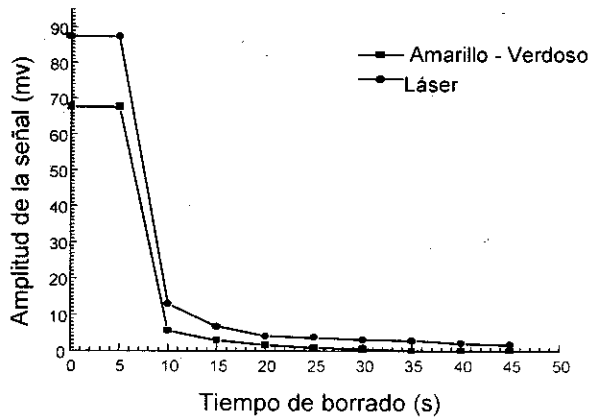


Gráfico 1.2. Proceso de registro bajo la influencia de luz amarillo-verdosa con un NR =  $4.32 \times 10^{-5}$  W/cm<sup>2</sup>.



**Gráfico 1.3.** Proceso de borrado bajo la influencia de luz azul con un NR =  $4.32 \times 10^{-5} \text{ W/cm}^2$ .



**Gráfico 1.4.** Proceso de borrado bajo la influencia de luz amarillo-verdosa con un NR =  $4.32 \times 10^{-5} \text{ W/cm}^2$ .

hologramas en el cristal BTO utilizado bajo la influencia de la luz azul y la amarillo verdosa para el nivel de ruido  $4.32 \times 10^{-5} \text{ W/cm}^2$ .

### - Proceso de Registro

Del análisis de los resultados en general, (es decir, para todos los niveles de ruido óptico empleados) se observa cómo, para un mismo tiempo de registro, el valor de la intensidad del haz objeto que se alcanza ante la presencia de los diferentes niveles de luz empleados como ruido, no tiene una diferencia apreciable en comparación con el valor obtenido con el láser en condiciones de oscuridad, excepto para las longitudes de onda correspondientes al amarillo-verdoso y amarillo en el NR =  $4.32 \times 10^{-5} \text{ W/cm}^2$ , donde se obtiene que la amplitud registrada para el haz objeto es inferior con relación al resultado obtenido en condiciones de oscuridad.

El hecho de no observarse una diferencia apreciable ante la influencia de estos niveles de ruido óptico, puede atribuirse a que ellos no provocan cambios significativos en la generación del número de portadores que se redistribuyen en el seno del cristal, en dependencia del campo eléctrico. Como consecuencia, la variación del índice de refracción dentro del cristal que se produce por medio del efecto electro-óptico, prácticamente no se altera y por tanto, no se observa un cambio considerable en la eficiencia del holograma registrado en el mismo, o sea, en la intensidad del haz objeto.

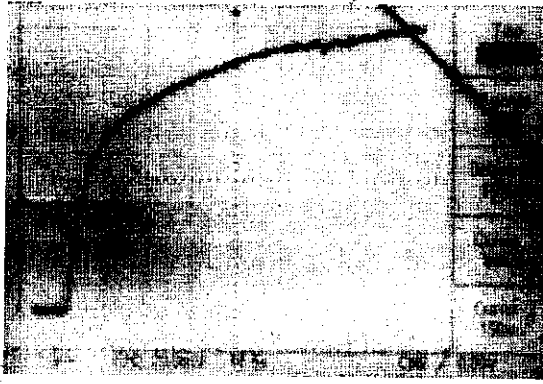
Por otra parte, el caso en que se obtiene que la amplitud registrada para el haz objeto es inferior

para las longitudes correspondientes al amarillo-verdoso y amarillo respectivamente en el NR =  $4.32 \times 10^{-5} \text{ W/cm}^2$ , con relación al resultado obtenido para el láser en condiciones de oscuridad, se interpreta como una consecuencia de que estos niveles de ruido provocan una atenuación de la variación del índice de refracción dentro del cristal, obteniéndose finalmente una menor eficiencia del holograma registrado en el mismo, es decir, menor intensidad de la luz difractada por él.

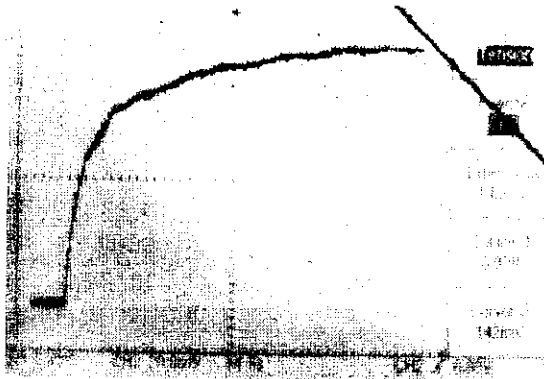
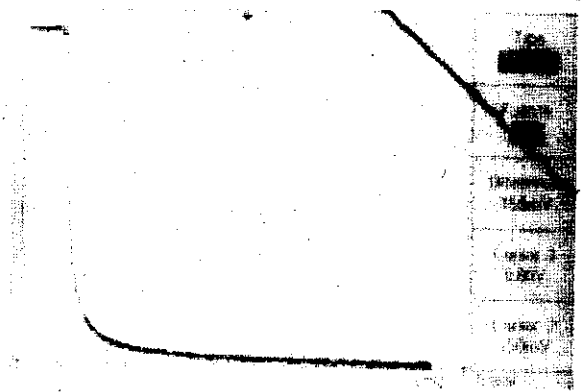
### - Proceso de borrado

A partir de los resultados de las mediciones correspondientes al proceso de borrado, se puede observar cómo el tiempo de borrado del holograma para los casos en que se ilumina el cristal con los niveles de intensidad utilizados para cada longitud de onda y con luz blanca, es prácticamente igual al que se alcanza con luz láser en ausencia de ruido óptico. Esto debe ser provocado por el hecho de que al cesar el efecto de interferencia al tapar el haz objeto, el proceso de desexcitación de los portadores debido al haz de referencia del láser (al que se suma el haz del ruido) es muy rápido, ya que la intensidad de este haz es muy alta en comparación con la del ruido.

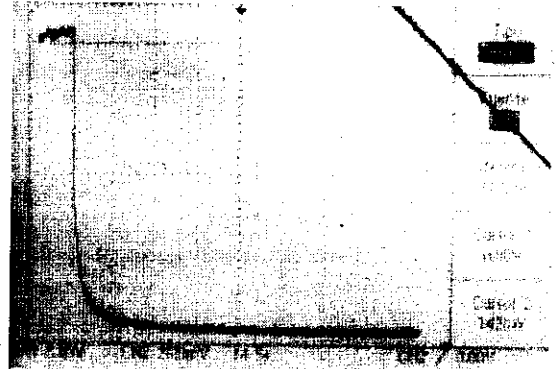
En las Figuras 2 y 3 se muestran fotos tomadas de la pantalla del osciloscopio correspondientes a los procesos de registro y borrado de hologramas en el cristal BTO llevados a cabo en ausencia de ruido óptico y bajo la influencia de la iluminación del laboratorio. En estas fotos se aprecian los resultados discutidos anteriormente para el caso de la luz blanca.



a)



b)



## CONCLUSIONES

**Figura 2.** Procesos de registro y borrado de hologramas en el cristal BTO:

- a) En ausencia de ruido óptico,
- b) Bajo la influencia de la luz blanca

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten concluir lo que a continuación se expone:

1. Los niveles de luz empleados como ruido óptico no permiten obtener mejores resultados en el proceso de registro respecto a los que se alcanzan en condiciones de oscuridad y en algunos casos influyen negativamente en este proceso, como es el caso de la luz amarillo-verdosa y amarilla.
2. En el proceso de borrado realizado en presencia de las radiaciones de ruido no se aprecian variaciones significativas respecto a los resultados obtenidos en condiciones de oscuridad.
3. Es posible trabajar con un nivel de luz ambiente por debajo del cual no se altera la calidad de los interferogramas. Esto representa una gran ventaja con respecto al trabajo en oscuridad, imprescindible con otros medios de registro.

## REFERENCIAS

1. OLIVA, A.A.; O. VALDESPINO; R. LORENZO and L. REYES (1993): "Optoelectronic Materials and their Applications", **Proceeding of the International Workshop**, Cuba.
2. PETROV, M.P.; S.I. STEPANOV and A.A. KAMSHILIN (1980): **Ferroelectrics**, 21, 631.
3. RUBIERA, L. (1999): Tesis de Maestría: Influencia del ruido espectral en hologramas registrados en cristales fotorrefractivos de  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ , Cuba.

# APLICACION DE LA POLARIMETRIA LASER EN EL PROCESO DE CONTROL DE LA PRODUCCION DE LA INDUSTRIA TEQUILERA

V. Fajer<sup>1</sup>; C. Rodríguez<sup>\*\*</sup>; R. Flores<sup>\*\*\*2</sup>; S. Naranjo<sup>\*\*</sup>; G. Cossío<sup>\*</sup> y J. López<sup>\*</sup>

\* Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN)

\*\* Facultad de Biología, Laboratorio de Biología Vegetal, Universidad de La Habana

\*\*\* Centro de Investigaciones en Óptica, León, Guanajuato (CIO)

## RESUMEN

Se presenta el desarrollo del método polarimétrico para la medición de jugos de agave crudos y cocidos tanto en mediciones de polarimetría directa como utilizando el polarímetro láser LP101M como detector de cromatografía líquida. Se demuestra la factibilidad de empleo del mencionado método para el control de la materia prima y el proceso de producción en la industria tequilera, indicando las ventajas de precisión y confiabilidad que aporta el referido método.

## ABSTRACT

The development of the polarimetric method for the measurement of raw and cooked agave's juices in direct polarimetric measurements and employing the LP101M laser polar meter as chromatographic detector are exposed. The feasibility of employment the mentioned method for the control of raw materials and the control process in the tequila industry is demonstrated, showing the precision and confidence of the referred method.

## INTRODUCCION

El agave azul tequilano Weber sin duda es hoy el ejemplo más conocido de la familia agavaceae, originaria de México. Esta popularidad se debe a dos aspectos fundamentales: es la planta de cultivo más redituable en México y es muy bella, de hoja recta azul verdoso o glauca de 1.25 m de largo por 8 a 10cm de ancho; la espina terminal es de color rojo oscuro de 20 mm, los dientes son rojizos triangulares de 3 a 4 mm y separados 10 a 15 mm uno de otro. (1). El agave es una planta semélpora con un periodo de desarrollo que va de 7 a 10 años. Los terrenos más propicios para su cultivo se encuentran en el estado de Jalisco y algunas zonas de los estados circunvecinos: Nayarit, Michoacán y Guanajuato, esta ha sido reconocida internacionalmente como la zona de "denominación de origen" del tequila.

Esto garantiza la autenticidad del producto, asegura el mercado y establece el marco regulatorio que define todo el proceso. El Consejo Regulador del Tequila (CRT) es el organismo oficial encargado de vigilar y certificar todo el proceso, desde la siembra de los hijuelos de agave, hasta el añejamiento y envase del tequila.

El agave azul se cultiva desde tiempos pre-hispánicos, indígenas de la región idearon hornearlo para extraer más azúcares y así lograr una

fermentación más rica, pero lo comían cortado en pedazos, más como golosina que como bebida alcohólica. Son los españoles, durante la colonia, los que introducen el proceso de destilación de los jugos de agave previamente horneado, exprimido en molinos de piedra y fermentado en barricas. Nace así en el pueblo de Tequila, Jalisco, una bebida que desde entonces no ha cesado de crecer en popularidad. La primera industria tequilera formal, se establece en ese mismo pueblo casi veinte años antes del inicio de la guerra de independencia de México.

Durante los últimos seis años la popularidad del tequila se ha incrementado significativamente, tanto en México como internacionalmente, la demanda ha propiciado el surgimiento de muchas nuevas industrias. La regulación estricta por una parte y la exigencia de calidad por la otra fueron algunos de los motivos que propiciaron el financiamiento del primer programa de investigación científica y desarrollo tecnológico en apoyo a la cadena productiva agave-tequila. Este programa fue financiado a partes iguales por el CRT, el CONACYT y el Gobierno del Estado de Jalisco. El énfasis de la primera etapa se centró en los problemas fitosanitarios(1), metabólicos y ecológicos del agave azul tequilano Weber.

El trabajo de investigación que se presenta constituye una primera experiencia tendiente a introducir nuevos métodos rápidos, confiables,

Email: <sup>1</sup>vfajer@ceaden.edu.cu, vfajer@ff.oc.uh.cu

<sup>2</sup>rflores@foton.cio.mx

precisos y económicos que ayuden al control de calidad de la industria tequilera, tomando como punto de partida la experiencia cubana en el análisis de los jugos de caña de azúcar y del proceso fermentativo.

## MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE MEDICION

En el presente trabajo se plantea desarrollar el método polarimétrico con 3 fines principales: el control de la calidad del agave que entra como materia prima a la industria tequilera, la determinación del contenido de azúcares del jugo de agave horneado previo a la fermentación y el control del proceso de fermentación del jugo de agave y por tanto el control de la producción en la mencionada industria.

Para estos fines se tomó como referencia las experiencias en el desarrollo de los métodos sacarimétricos en la industria azucarera que emplea los polarímetros automáticos como instrumento fundamental del laboratorio de análisis y experiencias en el control de la fermentación de la industria vinícola.

Específicamente para este fin se escogió el polarímetro automático LASERPOL 101M que utiliza el láser de He-Ne como fuente luminosa y alcanza una precisión de  $\pm 0.01^\circ$  en la escala angular. Este instrumento totalmente automático tiene la ventaja de su alta sensibilidad y la posibilidad de empleo de pequeños volúmenes de muestras (de 1 a 5 mL) dada las pequeñas dimensiones del haz del láser. Este instrumento utiliza tubos polarimétricos de 50 mm de longitud aunque dispone de un dispositivo que emplea cubetas fotométricas de la misma longitud que son más fáciles de manipular que los mencionados tubos.

Como métodos adicionales para caracterizar el jugo se utilizó la medición refractométrica empleando un refractómetro ABBE de la firma Carl Zeiss de  $\pm 0.5^\circ$  brix. Las muestras objeto de estudio fueron 6, obtenidas de la empresa tequilera Corralejo. Estas muestras comprenden jugos jóvenes, medianos y maduros obtenidos crudos y cocidos. Las muestras de jugo fueron acondicionadas para cromatografía y fraccionadas en gel Sephadex G-10 con altura y lecho 15 cm y velocidad de flujo de 4ml/min. El fraccionamiento se realizó 2ml y las fracciones se leyeron en el polarímetro LP101M, el diámetro del haz luminoso del láser permite la medición de muestras de pequeño volumen.

Se realizaron mediciones de absorción en el intervalo espectral entre 300 y 1100 nm para jugos crudos de agave joven y maduro y se compararon con el espectro obtenido de jugos de caña cubanos., los resultados se muestran en la Figura 2.

## ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 1 se observa que de todos los indicadores analizados, el que mejor permite una comparación entre muestras es la medición polarimétrica. El % de reductores, que nos indica el contenido de sustancias reductoras, crece de los jugos sin cocer a los jugos cocidos, marca la diferencia entre jugo joven y maduro y entre jugo cocido y fermentado.

Tabla 1. Datos de mediciones polarimétricas utilizando el polarímetro LP 101M.

Jugos de Agave	Brix grados	Giro ( $^\circ$ ) (0.5 dm)	% Red.	Viscosidad Relativa
1. Joven (sin cocer) Jalisco	5.0	-0.36	0.53	1.00
2. Maduro (sin cocer) Gto.	7.5	-0.95	0.15	1.76
3. Maduro (sin cocer) Jalisco	8.0	-0.78	0.15	1.30
4. Mediano (cocido) Jalisco	7.0	-1.68	4.50	1.87
5. Maduro (cocido) Jalisco	7.0	-1.77	4.50	0.97
6. Jugo con 1 y 1/2 día f.	4.5	-0.08	0.48	0.94

Los  $^\circ$  Brix no expresan la acumulación de carbohidratos susceptible de ser transformada en alcoholes, no marca la diferencia entre jugos sin cocer y cocidos ni destaca, como la polarimetría la cantidad de carbohidratos transformados en alcohol. La viscosidad relativa no guarda relación entre jugos sin cocer y cocidos, establece diferencias entre éstos que no se corresponden con el contenido de carbohidratos y no puede discriminar entre jugos cocidos y fermentados.

Las determinaciones polarimétricas establecen claras diferencias entre jugos jóvenes y maduros sin cocer, muy marcadas diferencias entre jugos sin cocer y cocidos, así como en la transformación de carbohidratos en alcohol cuando comparamos jugos cocidos y el jugo fermentado.

En el caso del jugo cocido se observa como en el proceso de fermentación ocurre una disminución del valor absoluto de la polarización lo cual se manifiesta en el hecho de que el jugo que presenta día y medio de fermentación tiene un valor de polarización muy pequeño. Este hecho coincide con los resultados obtenidos por los autores en trabajos precedentes (2), (3), (4) relativos a estudios de la fermentación de azúcar crudo para la producción de vino seco, donde

se produce una progresiva disminución del valor absoluto de la polarización hasta valores próximos a cero cuando culmina el proceso.

Se muestra en la Figura 1 como el método polarimétrico permite seguir la secuencia de acumulación de azúcares de joven a maduro, de maduro a cocido y de cocido a fermentado.

En la Figura 2 se muestra la gran similitud entre los espectros de absorción de los jugos crudos de agave y de caña a partir de los 500 nm .

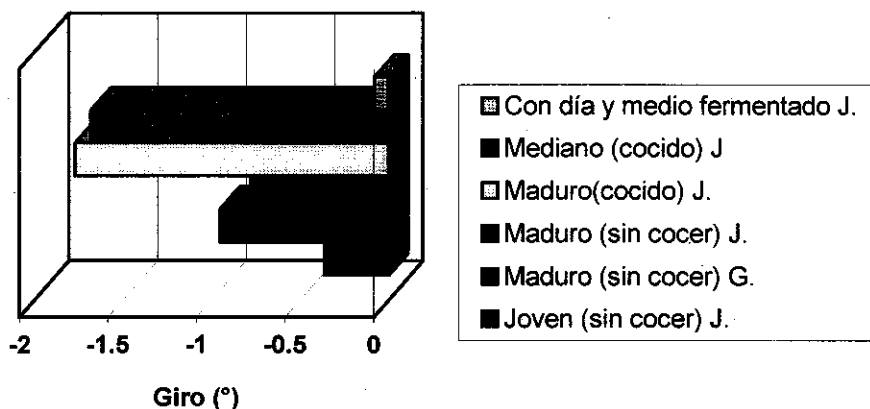


Figura 1. Actividad óptica de los jugos de agave.

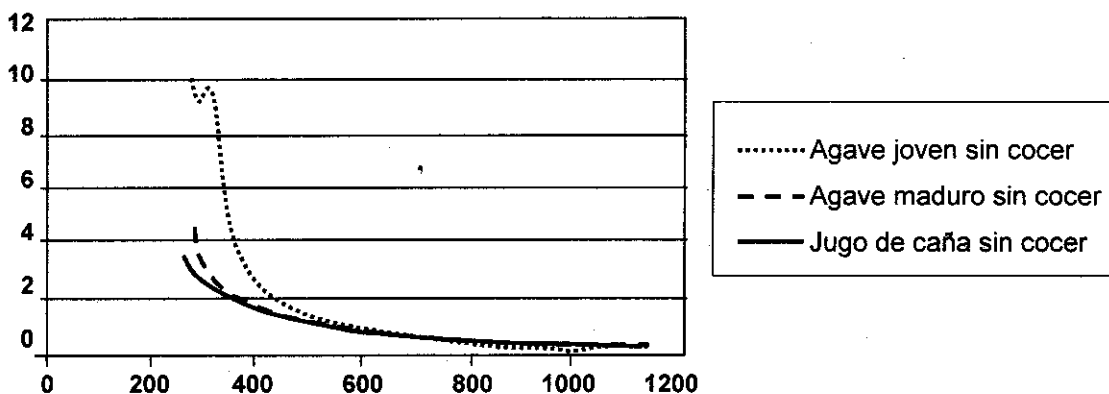


Figura 2. Absorción de los jugos de caña de azúcar y agave.

La Figura 3 muestra los cromatogramas correspondientes a jugos joven sin cocer, maduro sin cocer, maduro cocido y uno de día y medio de fermentación, todos procedente de Jalisco.

El cromatograma del agave joven sin cocer define dos picos de sustancias excluidas de G-10, la primera, correspondiente por su volumen de elución, a sustancias coloidales; la segunda a sustancias de mediana masa molecular y define dos picos de un

hombro en la zona de elución de sustancias de baja masa molecular. Todas ellas caracterizadas por un comportamiento resultante levógiro.

El cromatograma de agave maduro cocido muestra la desaparición de las fracciones coloidales y de mediana masa molecular, un incremento sustancial de la fracción de baja masa molecular y mantiene la insinuación de un hombro al final.

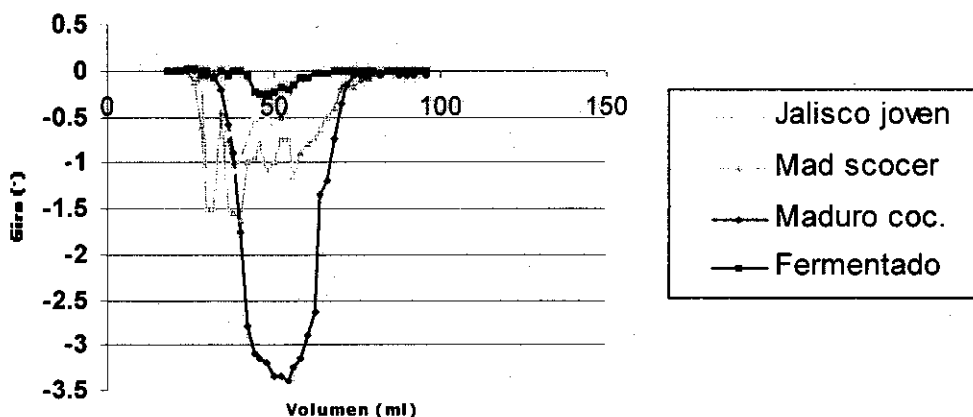


Figura 3. Cromatografía de los jugos de agave.

El jugo de un día y medio de fermentación muestra la desaparición de las sustancias de baja masa molecular y los residuos de sustancias coloidales y de mediana masa molecular.

Estos cromatogramas demuestran la acumulación de sustancias ópticamente activas, fundamentalmente carbohidratos que tienen un fuerte componente levógiro, cuando la planta pasa de joven a madura; una posible transformación por coacción de la fracción coloidal y de mediana molecular de agave maduro en compuestos de baja masa molecular y finalmente, la reducción prácticamente total de los carbohidratos de baja masa molecular que pasan a alcohol.

El uso de la cromatografía líquida de baja presión ha sido utilizada con éxito en el estudio de patrones de carbohidratos y jugos de caña de azúcar donde se han separado los carbohidratos coloides y los de mediano y baja masa molecular cuyas resultantes de giro son dextrógiras (5). Todo indica que sean levógiras o dextrógiras las componentes de carbohidratos presentes en extractos vegetales, son

susceptibles de separar en grupos los carbohidratos de alta, mediana y baja masa molecular, utilizando la metodología descrita en esta cita.

## CONCLUSIONES

- La medición polarimétrica de los jugos de agave es factible y existe una relación directa entre el grado de maduración de la planta y el valor absoluto de la lectura angular.
- El control de la fermentación del jugo del agave se puede realizar mediante polarimetría y constituye un método de mayor precisión para el control del proceso productivo y la determinación.
- La cromatografía empleada permite separar las componentes de carbohidratos presentes y demostrar el proceso de acumulación de carbohidratos hacia la maduración, la transformación transformación de carbohidratos de alta y mediana masa molecular en carbohidratos de baja masa molecular y la conversión de estos últimos en alcohol.

## REFERENCIAS

1. LUNA, G. (1999): Tesis de doctorado "Hacia un manejo integrado de plagas". **Fundamentos y recomendaciones prácticas. Agave tequilana**. 21.
2. BRAVO, O.L.; J.C. LOPEZ; R. GONZALEZ y V. FAJER (1993): Informe preliminar obre la utilización de la polarimetría en el proceso de control y caracterización de vinos y cervezas. **Memorias de la 2da. Jornada Científica del CEDEC**, 38-46.
3. FAJER, V.; C. RODRIGUEZ; M. MARTINEZ; O.L. BRAVO and G. COSSIO (1995): "Polarimeter LP 101M and its applications in liquid chromatography", Proceedings SPIE. Second Iberoamerican Meeting of Optics. Guanajuato. México. 27.30, 234-237.
4. FAJER, V. (1996): "Laser polarimeters: Overview of recent developments, design and applications", **Journal of laser applications**, 8, 43-53.
5. RODRIGUEZ, C. y otros (2000): Evaluación de patrones de carbohidratos para la caracterización de azúcares técnicos y jugos mediante cromatografía líquida, detección polarimétrica y colorimétrica. Soporte magnético, 5ta. Convención Metánica 2000.

# LASER WAVELENGTH MEASUREMENTS BY POLARIMETRY

J.C. López<sup>1</sup>, V. Fajér A. y R. González

Center of Applied Studies for Nuclear Development (CEADEN), Havana, Cuba

## ABSTRACT

The authors performed a polarimetric prototype for wavelength measurements. In the design both Faraday rotators acting for modulation of the incoming laser light and also as compensator, allow together with a quartz plate, a precise measurement of laser wavelength from 400 to 900 nm, with a resolution better than 0.1 nm. Equations and graphics current versus lambda for a quartz tungsten halogen lamp are presented for sensor adjustments. It is also presented a signal to noise analysis and a comparison with a conventional method.

**Key words:** wavelength measurements, rotatory dispersion, Faraday rotators.

## RESUMEN

En el presente trabajo se describe el diseño de un prototipo de medidor de longitud de onda polarimétrico. En el diseño los rotadores de Faraday actúan en la modulación y compensación de la luz incidente, estos unidos a una placa de cuarzo permite la medición de longitudes de onda entre 400 y 900 nm, con una resolución mejor que 0.1 nm. Las ecuaciones y los gráficos de corriente contra la longitud de onda son presentados para ajustes de los sensores. Además es presentado un análisis de la relación señal-ruido y una comparación con el método tradicional.

**Palabras claves:** mediciones de la longitud de onda, dispersión rotatoria, rotadores de Faraday.

## 1. INTRODUCTION

Faraday rotators have been widely used as isolators in gas or diode lasers performance, before 1995 the employment of terbium doped glass and terbium gallium garnet (TGG) were commonly used in free-space isolator. Recently new crystals such as cadmium manganese teluride and mercury doped glass also have been developed. A broad range of yttrium iron garnet (YIG) epitaxially grown crystals, which includes many dopants (1) have been developed in the infrared region.

Optical spectrum analysers has been developed (2) employing a magneto-optical rotation generated by a variable magnetic film to perform spectral analysis based on detected intensity distribution of diffracted light in the thin film multilayer for known magnetic field strengths. On other hands real time spectral analysis is presently carried out in number of ways, one of which is to collimate the unknown spectral distribution, transmit it through or reflect it from a mechanical diffraction grating to separate the spectral components according to the first order angle and detect the relative spectral intensities via a charge couple device (CCD) photodetector array (3).

Another method, which is used in chemical spectroscopy analysis, replace the expensive CCD photodetector array with a simple photodetector and rotates the diffraction grating mechanically with the spectral component incident on the detector. The detected light is there by related to the amount of rotation of the grating.

The cost of CCD-based systems, and the limited speed and mechanical nature of such chemical spectroscopy systems leaves a need for non mechanical electrically controllable spectral analyser, which were briefly explained in (1). All of these methods measure the wavelength according a pattern of intensities in the detector; it means an explanation of the distribution of intensities. The following method does not depend of intensity measurement of laser, it is a phase detection method, and for that reason noise sources are minimized. The idea of our method was suggested by Cummings(4) and Zander (5) in studies for rotatory dispersion of quartz and sugar samples and it is supported in the last approved equations of rotatory dispersion of quartz (6). This sensor was employed in characterization of He-Ne laser and laser diode.

E-mail: juanka@ceaden.edu.cu

## 2. THEORETICAL CONSIDERATIONS

### 2.1 Quartz sample rotation

Quartz plates are widely used as standards in polarimetric measurements. Plates with different degrees of rotations from almost 0 to 100° are used in visual and photoelectric polarimeters with different wavelengths.

In 1998 International Commission Unified Methods Sugar Analysis accepted the following dependence for rotation of 1 mm of quartz with wavelength ( $\mu\text{m}$ ):

$$(\alpha) = -0.1963657 + 7.262667 \cdot \lambda^{-2} + 0.1171867 \cdot \lambda^{-4} + 0.0019554 \cdot \lambda^{-6} \quad (1)$$

and analyzing first derivative with wavelength,

$$d\lambda = (-14.525334 \cdot \lambda^{-3} - 0.4687468 \cdot \lambda^{-5} - 0.117324 \cdot \lambda^{-7})^{-1} d\alpha \quad (2)$$

Then, angular polarimetric measurement must be better than 0.002°; it means a maximal precision of 0.07 nm or 0.02 nm. According to the rotatory dispersion equation for shorter wavelengths, precision for optical rotation must be lower than 0.07 nm (Table 1)

**Table 1.** Theoretical accuracy for wavelength measurements.

Center of Intervals (nm)	633.8	735.0	880.0	1000.0
Accuracy (nm)	0.017	0.026	0.045	0.068

### 2.2 Model for optimizing the signal to noise ratio (S/N)

In the Faraday cell performances the optical rotation ( $\text{min}$ ) is:

$$\beta(\lambda) = V(\lambda) \cdot H \cdot L \quad (3)$$

where  $V(\lambda)$  is Verdet constant in  $\text{min Oe}^{-1} \text{dm}^{-1}$ ,  $H$  is the magnetic strength in the solenoid axis in  $\text{Oe}$  and  $L$  is the length of the rod in  $\text{dm}$ . Verdet constant changes with wavelength did not considerably introduce a significant noise in the modulation angles (7). The resulting signal in the detector for small angles, when it is used a lock-in amplifier arrangement is:

$$S = 4 I \alpha \beta = 1.6\pi \alpha i V(\lambda) n i L \quad (4)$$

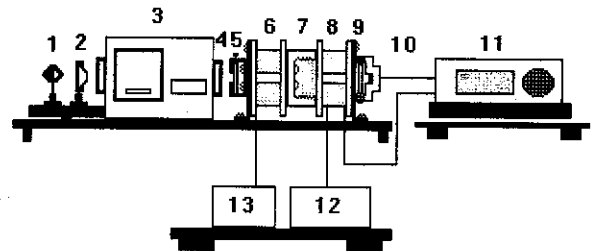
where  $I$  is the intensity of the incident radiation,  $\alpha$  is the optical rotation of quartz,  $n$  is the number of turn per length,  $i$  is the current in the cell. Noise is obtained as follow:

$$N = (I + A^2 I^2 + B)^{1/2} \quad (5)$$

where  $I$  is the intensity in the photodetector, then signal to noise ratio is:

$$S/N = 1.6\pi \alpha i V(\lambda) n i L / (I + A^2 I^2 + B)^{1/2} \quad (6)$$

## 3. EXPERIMENTAL SETUP



**Figure 1.** Block diagram of the instrument.

The optical-mechanical arrangement Figure 1 is basically composed by a quartz tungsten halogen lamp of 500 W, (1) a condenser lens system (2), a double monochromator MDR 23 with a diffraction gride of 1200 lines/mm (3), a collimating lens system (4), a sheet polarizer (5), a magnetic shielded Faraday cell (6), a quartz plate (7), a Faraday compensating cell (8), an analyzing sheet with a mechanical rotator adjustment (9) and a photomultiplier tube of flat response for whole spectrum R636. The resulting signal of the detector and modulating reference signal (10) is supplied to a lock-in amplifier (11), where they are filtered and amplified. Afterwards a dual channel oscilloscope monitors both signals, where it is obtained a corresponding Lissajous figure (1:2). Modulation is driven by a wave generator at 1.8 KHz (modulating LASERPOL system) (12) and the standard signal is supplied to 5cm- 900 solenoid, which has a TF10 glass core. A 850 turn calibration cell (8) is fed by a stabilized current power supply (0-5 A, 0.25 mA ripple). The current measurement was performed by 0.1 mA scale of a digital storage multimeter Thurbly. The noise was taken as the peak-to-peak variation of the baseline before and after the rotation measurement. One point of calibration was established by using a 5 MHz digital storage oscilloscope IWATSU DS 8605. The various components of the instrument were carefully optimized during the experiments, since best extinction ratio and sensitivity of the system were very critical for the improvements in S/N ratio. Zero setting of the instrument was performed with a He-Ne laser of 0.6329914  $\mu\text{m}$ . Then, without any current the zero point is set in the Faraday compensating cell (polarizer and analyzer in the crossed position). Also two more references points are established with a quartz tungsten lamp (Table 2).

Table 2.

Wavelength measurements in MDR 23 monochromator (nm)	Wavelength fixed (nm)	Differences (nm)
454.22	454.16	-0.06
458.36	458.26	-0.10
473.30	473.30	0.00
488.23	488.23	0.00
504.93	504.88	-0.05
517.55	517.47	-0.08
533.87	533.77	-0.10
546.70	546.70	0.00
552.35	552.30	-0.05
582.60	582.60	0.00
607.45	607.45	0.00
632.95	632.96	0.01
665.70	665.70	0.00
679.85	679.85	0.00
735.05	735.03	-0.02
774.00	774.00	0.00
880.25	880.22	-0.03
999.87	999.76	-0.10

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

At first glance, it seems from the resulting signal expression that simply providing a large modulation current, or more coil turns per unit length could enhanced the signal. However, there are practical limits to increase the signal by these methods. One of these limits is the geometrical dimension, which has to be reasonable small. The heating of the coil is the major source of mismatching of the expression of rotary dispersion of quartz and the founded relationship in the calibration procedure. Although large current is used, the use of ramp shape pulse diminishes the power dissipated in the coil, even at 1.8 KHz.

The signal to noise ratio under these conditions is 132, which allows to measure better than 0.1 nm in the whole spectrum. Further studies with higher Verdet constants cores must be considered to increase this S/N ratio.

The results of calibration are shown in the Figure 2. Here it was not observed a compensation between the Verdet variations of TF 10 glass and the variation of quartz with wavelength. The calibration curve was adjusted to the following expression:

$$\lambda = 73.601 + 1000 \cdot (0.274185 \cdot i + 2.830193)^{-0.55838}$$

where  $\lambda$  is in nm and  $i$  in ampere.

The calibration was made with the best signal to noise ratio obtained and the resolution is better than 0,1 nm.

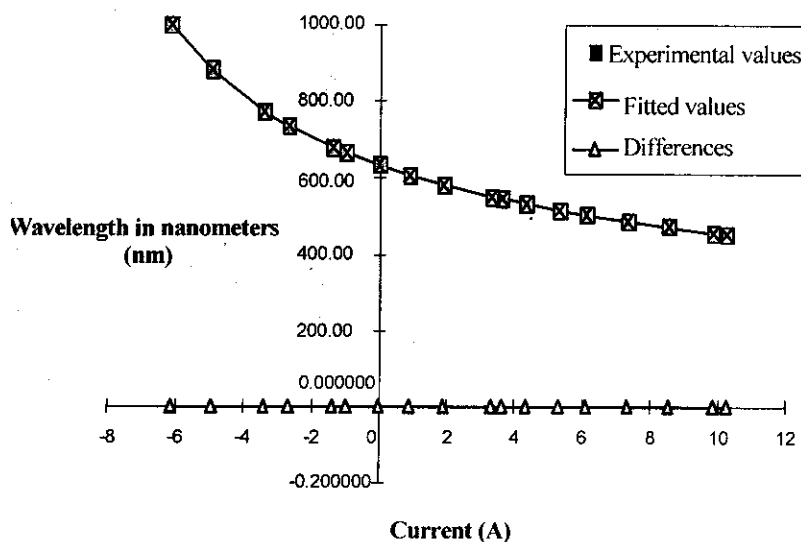


Figure 2. Fitted curve of wavelength versus current values.

## REFERENCES

1. LANO, G. E. and C. PINYAN (1995): "Optical Isolator direct light the right way", **Laser Focus World**, July .
2. SPILLMAN, W.B. Jr. (1995): **Optical spectrum analyzer and encoder using a modulated phase grating wherein said grating diffracts the wavelength as a function of the magnetic field.412469**, Delphion Intellectual Property Network.
3. SATO, et al. (1978): **Optical Modulator using controllable diffraction grating**, US 4115747. Delphion Intellectual Property Network.
4. CUMMINGS, A.L. (1982): **Proc. ICUMSA**, 18 Session, Dublin. Subject 6: Appendix 1 and 5.
5. ZANDER, K. (1982): **Proc. ICUMSA**, 18 Session, Dublin, Subject 6 (printed)
6. KEITEL and MOSCHE (1997): **Proc. ICUMSA**, 22 Session, Quartz plates subject.
7. YEUNG, E. (1985): "Signal to noise analysis in polarimetry", **Talanta**, 32, 1097-1100.

# LABORATORIOS SIMULADOS EN FISICA PARA INGENIEROS ELECTRICOS: EXPERIENCIAS Y PROPUESTAS

Amelia Martín Rodríguez, Raúl Lorenzo y Otmara Cid Arjona  
Dpto. de Física, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE)

## RESUMEN

Se analizan criterios y ejemplos relacionados con el empleo de laboratorios virtuales de Física en las carreras de Ingeniería Eléctrica especialmente para la asignatura emblemática de la disciplina que es el Electromagnetismo. Se discuten algunos resultados preliminares obtenidos y se sugieren tareas que pueden realizarse.

## ABSTRACT

The employment of virtual laboratories in Physics for students in Electrical Engineering is analyzed. We show certain experiences obtained during the course of Electromagnetism. Preliminary results are discussed and we also give some ideas that can help improve them.

## INTRODUCCION

En el mundo entero el advenimiento de la era informática ha estimulado el empleo de software para experimentar en Física; con mayor razón en aquellos lugares donde la carencia de otros recursos materiales hace casi imposible realizar prácticas de laboratorio que se correspondan con las tecnologías actuales. Pero debemos pensar que no sólo este problema es el que motiva al desarrollo de prácticas virtuales, sino las grandes posibilidades de comunicación que a través de las redes se pueden lograr, posibilitando incluso que se realicen experimentos conjuntos entre estudiantes de diferentes países (1). Es decir, los recursos han efectuado una expansión, por así decirlo, cambiando el panorama de lo que puede y debe hacerse para mantener los cursos al día en cuanto al empleo de dichos recursos actuales se refiere.

La Física como ciencia, hace varias décadas está adentrándose por caminos que bien lejos de la observación directa de fenómenos explota cada vez mas los recursos informáticos y se sirve de ellos para expresar los logros de su época. Es un reto considerable a la enseñanza el poder llevar a los alumnos algo de actualización y no dejar de atender los principios en los que se fundamenta todo el edificio de la disciplina. Pero el propio desarrollo de la Información va a continuar profundizando esta situación en el futuro, así que hay que enfrentarlo.

Los estudiantes de Ingeniería Eléctrica reciben en nuestros programas los cursos básicos de Física en los dos primeros años de la carrera, por lo que están en la etapa inicial de formación también en cuanto a la computación. Resulta conveniente utilizar todos los medios a nuestro alcance y también por supuesto

al de ellos, cuya formación profesional debe ser el superobjetivo, (lo que no puede perderse de vista) para familiarizarlos con el vasto universo tecnológico y conceptual de los ordenadores. Para llevar a cabo una tarea tan importante deben establecerse premisas, declararse objetivos y etapas, evaluar sistemáticamente los resultados del trabajo, pero sobre todo ir haciendo cosas. No esperar a tener todas las condiciones o máquinas de última generación, pues el adelanto en este campo es tan impetuoso que corremos el riesgo de quedarnos muy a la zaga de las tendencias mundiales (2). Es pues conveniente ir analizando los pasos que damos para con los mismos recursos mejorar la eficiencia del trabajo y aprovechar las iniciativas que sin duda se van desarrollando.

## PROPOSITOS QUE SE PERSIGUEN

1. Incorporación a la disciplina de las NTI (Nuevas Tecnologías de la Información). La disciplina Física tiene de acuerdo a su programa, declarado un conjunto de objetivos que hay que tener en cuenta a la hora de pretender imbricar los laboratorios virtuales en ese contexto. No se trata de sustituir "prácticas faltantes" por simulaciones para llenar el tiempo que de otro modo quedaría libre, es necesario ir mucho mas allá, aunque es verdad que nos puede ayudar el trabajo en el centro de cálculo a cubrir horas programadas, pero debe hacerse de modo inteligente. Esto requiere una preparación del docente, por supuesto, en cuanto a sus propias habilidades y en cuanto a la preparación de estas nuevas clases, con otro estilo. En esto creo que todos estamos de acuerdo, pero como se requiere esa preparación, que conlleva un esfuerzo grande, puede ser que unos sean partidarios de una variante "suave" en el proceso.

Nosotros creemos que algo debe hacerse y que errando se aprende así que somos de los partidarios de usar incluso herramientas menores para ganar en alguna medida un espacio que otras asignaturas han hecho suyo.

2. Un asunto que queremos analizar es el que se refiere a si las simulaciones deben inclinarse por el ejercicio y comprobación de los principios físicos de nuestra ciencia o por el contrario como se trata de futuros ingenieros, es preferible escoger simulaciones que modelen actividades de aplicación, preferiblemente incluyendo la presencia de instrumentos virtuales, constituyendo verdaderas imitaciones del trabajo del laboratorio.

Creemos que de ser posible deben contener una parte de cada uno, pues a nuestros alumnos no se les hacen muchas demostraciones prácticas reales del cumplimiento de las leyes que están estudiando en el momento de la clase, en el aula. En este caso sí por falta de equipamiento, aunque en el caso particular de la especialidad que nos ocupa existe una variante que usamos con frecuencia y es la de llevar a los estudiantes al laboratorio de alto voltaje en visita dirigida para que los ingenieros que allí trabajan puedan mostrarles algún aspecto concreto de la instalación funcionando.

Esto puede también complementarse con la exhibición de películas científicas, y de hecho lo hacemos, pero no disponemos de todos los materiales que quisiéramos, aun de los que existen en nuestro país. Esta es una línea de trabajo que puede mejorarse.

Esto tiene su importancia pues en la televisión, como medio masivo de comunicación se pasan materiales con un alto contenido especializado, hechos con todos los recursos en países del primer mundo, y que además de ser atractivos contienen información técnica de primera categoría que puede ser aprovechada directamente en las clases. El mundo audiovisual se ha desarrollado de tal manera que las personas se van acostumbrando a un ritmo de recepción de la información muy dinámico y hay que tener esto en cuenta pues un experimento a lo siglo XIX puede resultar muy aburrido si se compara con una filmación realizada con técnicas modernas. Claro, la comprobación por sí mismos, al estilo "hecho en casa", de algunos fenómenos, tendrá también una drástica importancia cognitiva en la formación general de los estudiantes.

Como profesores no especialistas en el desarrollo de herramientas virtuales, sino como usuarios de las que existen, nuestra tarea pasa por revisar y juzgar los materiales disponibles, con un sentido no solamente crítico, sino para seleccionar aquellos que nos parecen mas cercanos a lo que queremos lograr.

## EXPERIENCIAS

Es el caso que tenemos disponible en la página WEB de la facultad de Eléctrica del ISPJAE (3) el Electrolab, obtenido a partir de un libro colocado en INTERNET por el profesor español Angel Franco, llamado Física con Ordenador. Este material constituye un punto de partida y como tal lo estamos empleando. Apuntemos algunas opiniones nuestras sobre él:

1. Contiene información de principios y conceptos además de aplicaciones
2. En algunos casos las instrucciones para desarrollar los applets son demasiado explícitas dejando la interacción reducida a una dosis mínima
3. Abarca algunas cuestiones del programa nuestro pero no todas.

Es mejor usarlo que obviarlo en este momento, pero realmente no debemos sentirnos satisfechos del todo. Una dificultad grande a la hora de escoger materiales que están en INTERNET es que nuestros alumnos no tienen acceso por el momento en su centro de cálculo a la misma, así que no pueden trabajar "on line". Los applets que están en la net, se han diseñado para correrlos directamente, no congelados como hacemos nosotros, lo cual limita las variaciones o ampliaciones del programa virtual propuesto. Pero esto mismo nos indica caminos a seguir, es decir hay que buscar en INTERNET otras cosas y lograr su implementación en las redes aunque sea offline. Pero esto debe ser eficiente y no desordenado pues hay que ahorrar tiempo de todo el sistema informático disponible.

Otras variantes actualmente al alcance de los estudiantes son el Electronic Workbench y el Simulink del Matlab. Veamos qué pensamos de cada una de estas herramientas:

### 1. Del Electronic Workbench:

Esta herramienta que se emplea para diseñar trabajos en electromagnetismo y aplicaciones relacionadas se puede usar al mismo tiempo que en otras asignaturas y con otros propósitos que deben ser bien establecidos.

Tiene ventajas por su sencillez y permite aprovechar el vínculo con la especialidad pero no cubre toda la disciplina por lo que podemos explotarlo en ese contexto.

### 2. Del Simulink del Matlab:

Creemos que es interesante como útil pero los estudiantes no lo emplean sino hasta el Segundo semestre de segundo año y por tanto no se puede

orientar una tarea con él si no se hace una introducción previa y muy dirigida para que pueda ser asimilada rápidamente. Conspiran contra esto factores como la carga docente del estudiante en estos semestres, las limitaciones en horario del centro de cálculo etc. Entonces solo podemos por ahora experimentar con alumnos de alto rendimiento para los cuales no sea un trastorno el asumir otra tarea.

En la práctica es muy insuficiente lo que hacemos por ahora. Como concepto, sí creemos que debe adelantarse el Matlab en Eléctrica en cuanto a la presentación inicial a los estudiantes, para que esto permita su desarrollo natural por todos los usuarios potenciales.

### ALGUNOS RESULTADOS INTERESANTES

Realizamos una encuesta a un grupo de estudiantes de segundo año de la especialidad que usaron por primera vez el material de Física con Ordenador.

La encuesta tuvo diez preguntas, de las cuales siete son de contenido y tres estuvieron dirigidas a evaluar el agrado con que fue recibido. Se aplicó el día del examen final después de realizado éste a cada estudiante. Resumiendo la información tenemos que:

- acerca del dibujo de las líneas de campo eléctrico: 27 si las vieron, 7 no
- observación de las moléculas polarizadas en un dieléctrico: 25 si, 9 no
- acerca del dibujo de las líneas del campo magnético de un enrollado variando la condición de las espiras: 25 si, 9 no
- espectrómetro de masas: 8 si, 26 no
- si les gustaría disponer de más tiempo con el software: 34 si
- observación de la curva de histéresis: 6 si, 28 no
- si les gustó el software: 32 si, 2 no
- si recuerdan alguna expresión fundamental de allí: 5 si, 29 no
- observación anticipada de interferencia: 7 si, 27 no
- si usaron los contenidos para estudiar: 9 si, 25 no

Hagamos algunos comentarios:

Aparentemente fue del agrado de los alumnos el uso del material, ninguno se refirió a su sencillez o intentó valorarlo de cierto modo. Esto no se preguntaba directamente pero como la entrevista fue oral, solicitamos las respuestas amplias.

En cuanto a la efectividad del tiempo empleado se aprecia que la mayoría de ellos hizo uso superficial del material.

Las tres primeras preguntas se refieren a asuntos muy tratados en el curso a los que el ordenador da una reiteración. En cambio en el espectrómetro, que nos consta usaron, ni una remota idea de para que sirve. Claro, no es un dispositivo ingenieril, sino para la Física y no hubo otra referencia posterior.

En el momento en que hicieron ferromagnetismo muy pocos observaron la curva de histéresis, tanto menos la información teórica acompañante. Esto mismo ocurrió con el fenómeno de interferencia de la luz. El laboratorio virtual se realizó antes de las clases correspondientes pero muy pocos lo observaron allí a pesar de que se les orientó con ese sentido.

Algunos pocos copiaron los textos en disquettes para su estudio posterior. El resumen no es alentador, pero habrá que tratar con otros grupos diferentes y entonces hacer comparaciones. ¿Será que otras tareas de más envergadura recibirán mejor acogida?

¿No hay condiciones adecuadas para este trabajo?  
¿Cómo evaluar las capacidades potenciales de los estudiantes en las aplicaciones informáticas?

### CONCLUSIONES

Nos hacemos muchas preguntas. Las respuestas aparecerán en la medida en que ensayemos las variantes. Sugerimos una línea de acción abierta, de intentos diversos en la medida de lo posible para cada grupo y docente.

La disciplina de Física tiene que reflejar por donde andan las cosas en el "mundo real" y preparar el camino para los nuevos paradigmas que sin lugar a dudas se van a ir estableciendo e introduciendo en la vida cotidiana a través de las aplicaciones.

### REFERENCIAS

1. Computational Physics at Oregon State University <http://nacphy.physics.orst.edu/>
2. ORTEGA-ZARZOSA, G. (2000): "Influencia en el aprendizaje usando un laboratorio virtual de Física", *Revista Cubana de Física*, 17(1-2).
3. Intranet de la Facultad de Eléctrica del ISPJAE, <http://www.electroweb.com>

# UNA NECESARIA FUSION ANTE LAS PUERTAS DEL PROXIMO SIGLO:

## “Las Ciencias Nucleares y Biotecnológicas”

G. Pérez<sup>1,4</sup>; F. Guzmán<sup>1</sup>; J.D.T. Arruda-Neto<sup>2,3</sup>; F. García<sup>1,2</sup>; O. Rodríguez<sup>1,2</sup>; M.V. Manso<sup>2</sup>; J. Mesa<sup>2</sup>; M.V. Tavares<sup>2</sup>; A. Deppman<sup>2</sup>; V.P. Likhachev<sup>2</sup>; J.W. Pereira Filho<sup>2</sup>; O.M. Helene<sup>2</sup>; G.W. Araujo<sup>3</sup>; S.P. Camargo<sup>3</sup> y A.C. Cestari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Habana, Cuba

<sup>2</sup>Instituto de Física, Universidad de Sao Paulo, SP, Brasil

<sup>3</sup>Universidad de Santo Amaro - UNISA, Sao Paulo, Brasil

<sup>4</sup>Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear, Habana, Cuba

### RESUMEN

Actualmente existe un creciente interés en la evaluación de la exposición del hombre a las fuentes naturales de radiación en los campos de investigación de la Física de las radiaciones y las Biológicas. Los físicos de hoy se inclinan a buscar un acercamiento aun más estrecho entre las ciencias nucleares y biotecnológicas como una necesaria fusión para dar respuesta a mecanismos y procesos a niveles moleculares y celulares relacionados con los efectos de los bajos niveles de radiación y el riesgo de cáncer en el hombre. En el artículo se promueve un proyecto de investigación y colaboración que actualmente se desarrolla entre las entidades de Cuba y Brasil, sobre el “Estudio del uranio en la cadena alimentaria” que persigue este objetivo.

### ABSTRACT

At the moment a growing interest exists in the evaluation of the exhibition from the man to the natural sources of radiation in the fields of investigation of the Physics radiations and the Biological ones. Today's physiquers leans to even look for an approach more narrow among the nuclear and biotechnical sciences as a necessary coalition to give answer to mechanisms and processes to molecular and cellular levels related with the effects of the first floor radiation levels and the cancer risk in the man. In this paper it is promoted an investigation project and collaboration that at the moment is developed between the entities of Cuba and Brazil, on the "Study of the uranium in the alimentary chain" that pursues this objective.

## INTRODUCCION

### La Biotecnología y la Física Nuclear

En los últimos años, el propio desarrollo tecnológico ha impuesto nuevos paradigmas que trascienden su propio entorno. En particular, ha surgido con fuerza los enfoques multi y transdisciplinarios como tendencia a abandonar las líneas clásicas por disciplinas. Tal vez uno de los ejemplos más fehaciente en esta dirección es el caso de las ciencias biológicas tratándose de relacionar la estructura de la materia viviente, con la de la materia simple lo que significa tratar de vincular o establecer un puente entre la célula y el átomo, entre la máquina y el cerebro.

La Biotecnología, ciencia que utiliza el conocimiento de la biología molecular, la biología celular, la biología estructural, la bioquímica, la bioingeniería y la microbiología, para desarrollar una tecnología biológica innovativa, ha desbordado las expectativas del sector industrial, mostrando avances considerables en diferentes áreas vinculadas a la industria y en la solución de problemas en las áreas de salud, agricultura y en el tratamiento de la contaminación

ambiental constituyendo una admirable fusión de tres disciplinas: la biología, la tecnológica y la ingeniería.

En esta misma línea de razonamiento, se van incorporando, como reflejo de esta tendencia integradora y multifacética, otras disciplinas clásicas como la física nuclear o su vertiente contemplada en las denominadas técnicas nucleares, que en esencia son técnicas analíticas no destructivas de elevada exactitud y sensibilidad, por lo que han sido ampliamente utilizadas en la determinación de elementos minoritarios y trazas en muestras de variada naturaleza y composición.

Puede señalarse que de las numerosas técnicas analíticas disponibles, las técnicas nucleares resultan especialmente idóneas para el estudio y determinación de elementos trazas en materiales biológicos. Numerosos autores [3-6,12,14-22] han utilizado estas técnicas analíticas, específicamente en la determinación de metales pesados, de elementos tóxicos y radiactivos, en estos materiales, mostrando resultados satisfactorios de su aplicación en los estudios de nutrición y problemas ambientales y radiológicos relacionados con la salud.

De igual forma han sido desarrollados modelos físicos teóricos y métodos propios de la física nuclear, los cuáles se utilizan, para la descripción de la interacción de la radiación con la materia viva, para la descripción de procesos intracelulares que ocurren bajo el efecto de una radiación ionizante, como son la polarización del citoplasma, difusión de una partícula en la membrana celular, probabilidades de rompimiento simple o doble de las cadenas del ADN, etc.; y sobre la base de los cuáles también pueden realizarse cálculos de dosis, de microdosis internas y de distribución de energías depositadas por la ionización de una radiación, en espacios tan nanométricos como el núcleo de una célula [7-12].

Por otro lado, es de conocimiento que son muchas las maneras en que las tecnologías nucleares se aplican para resolver también otros problemas cotidianos relacionados con el aumento de la producción agrícola y ganadera; la seguridad alimentaria y la calidad general de los alimentos; el aprovechamiento de los recursos hídricos y la biosfera; en la modernización de la industria y hasta en el mejoramiento de la salud humana, aunque parezca paradójico, mediante la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades genéticas y transmisibles e incluso de enfermedades mortales como es el caso del cáncer.

Sin embargo nuestro objetivo a través de este trabajo es dirigir la atención hacia una de las direcciones de investigación más interesantes e importantes que ocupan a los Físicos Nucleares de hoy; que es intentar utilizar la Física Nuclear con sus técnicas y metodologías como una herramienta importante, en estudios profundos sobre la unidad más pequeña de la materia viva, la célula y su excitante centro la molécula del ADN y elemento núcleo sobre el que gira las ciencias Biotecnológicas; con el objetivo de encontrar respuestas a mecanismos y procesos muy relacionados con los efectos de los bajos niveles de radiación y el riesgo de cáncer.

#### **Móviles de una investigación**

- *El componente natural radiactivo del medio ambiente*

Gracias al trabajo de un organismo excepcional del sistema de las Naciones Unidas, el Comité Científico para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes se conocen mejor que los producidos por muchos otros agentes químicos y físicos que afectan a los seres humanos y al medio ambiente. No obstante todavía existen muchas cuestiones sin respuesta en la esfera de la radiobiología, en la radiogenética y en la biología molecular, particularmente a los efectos que atañe las "dosis bajas de radiación" (correspondientes estas, a niveles similares a los de, por ejemplo, la

exposición a fuentes de radiación natural) y su relación con el riesgo de cáncer.

Desde el comienzo del siglo XX, se ha sabido que las dosis altas de radiación ionizante producen daños clínicamente detectables en un individuo expuesto a ellas, que pueden resultar tan severos como para llegar a ser mortales. Hace algunos decenios, se hizo evidente que también las dosis bajas de radiación podían producir efectos severos sobre la salud. En consecuencia, en los últimos años la conciencia del público respecto a la exposición a fuentes de radiación natural ha ido en aumento a un ritmo bastante acelerado. Por ejemplo, la exposición a elevados niveles de radón en interiores ha sido objeto de gran atención y algunos países ya han adoptado medidas de reglamentación para mitigar esa exposición en las viviendas y establecer límites respecto al radón para los edificios nuevos.

Esta conciencia cada vez mayor ha hecho que se amplíen las investigaciones científicas en esta dirección. Estas investigaciones han abarcado estudios de gran escala, como son estudios radioquímicos de radionucleidos naturales ambientales; estudios sobre el transporte y la transferencia de radionucleidos del medio ambiente al hombre y estudios epidemiológicos en determinadas poblaciones; con el objetivo de investigar los riesgos propios que entrañan para la salud, la exposición prolongada a dosis bajas de radiación, proveniente de fuentes de radioactividad natural.

Actualmente la dosis de radiación media que recibe la población mundial de fuentes naturales es de 2,4 milisievert (mSv) por año, según la UNSCEAR [2]. Estas fuentes incluyen los rayos cósmicos y radionucleidos terrestres como el potasio 40 ( $K^{40}$ ), el uranio 238 ( $U^{238}$ ); el torio 232 ( $Th^{232}$ ); y los productos de desintegración asociados a estos dos últimos. La exposición a estas fuentes naturales varía mucho. En algunas zonas del mundo los niveles de radiación externa provenientes de fuentes naturales, son más elevados de lo normal. Por ejemplo, las exposiciones a la radiación cósmica oscila entre 0,26 mSv al nivel del mar y 20 veces esa cantidad a una altitud de 600 metros.

Existe además un "incremento tecnológico" a esta radiación, dado por las operaciones industriales y otras actividades que con el tiempo llegan a modificar las fuentes de radiación natural, y pueden alterar los "niveles de exposición" del hombre a la radioactividad natural. Un ejemplo, de esto, lo tenemos en la actual producción mundial de fertilizantes fosfatados, su utilización en la agricultura y como complemento en la alimentación animal. Esta producción puede ocasionar un compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva de 300 000 Sv. hombre por año. Compárese esta cifra con el efecto radiológico que tuvo lugar sobre el

hemisferio septentrional, el accidente ocurrido en Chernobil en 1986, el cuál se calcula que fue de 600 000 Sv.hombre, es decir la cantidad equivalente a 2 años de producción mundial de fertilizantes fosfatados [13]. En Brasil en análisis [15,29] que se efectuaron a diferentes marcas comercializadoras de fertilizantes fosfatados, se determinó concentraciones de uranio entre los 30-200 ppm, muy por encima de los normas legislativas, llamando la atención, que por las aplicaciones de este producto en la agricultura y en la alimentación animal pudieran encontrarse altas concentraciones de uranio en la dieta de un consumidor brasileño, considerándose necesario a partir de este momento realizar estudios para estimar exposiciones ante el contaminante radiactivo, dosis y riesgos de la población en general.

En la vida cotidiana todos enfrentamos riesgos. Ninguna actividad o práctica humana está totalmente libre de los riesgos conexos. Es imposible eliminarlos por completo, pero sí se pueden reducir. En general, la sociedad acepta los riesgos conexos a fin de aprovechar los beneficios inherentes, como es por ejemplo, la utilización de carbón, petróleo y energía nuclear para producir electricidad. En nuestro caso, si conocemos que toda persona expuesta a sustancias contaminantes carcinógenas correrá cierto riesgo de contraer cáncer, lo importante es saber determinarlo, cuantificarlo y reducir ese riesgo al nivel más bajo que sea razonablemente posible y es en este sentido que se despliega el esfuerzo de este trabajo.

Y es por ello que en el estudio de los efectos por la exposición interna que producen los elementos radiactivos que se incorporan al hombre por diferentes medios, se le da un significado peso a las características y propiedades de aquellos elementos que además de existir de manera natural en la naturaleza y de rodear al hombre, significan un importante contribuyente en la exposición radiactiva natural y externa de éste, como es el caso del uranio.

- *El Uranio como elemento contribuyente en la exposición natural y externa del hombre*

El Uranio, es uno de los contaminantes de significado radiológico más importante para el hombre y que se encuentra presente en casi todo nuestro medio ambiente de manera natural y en diferentes proporciones. La concentración promedio de uranio en la corteza terrestre ha sido reportada de 0,76 µg de U x gr. de suelo. Las aguas naturales contienen de (0,2- 600) µg Uranio por litro. En las rocas de fosfato su concentración puede ser tan alta como de (2ppmx peso). Cerca de 100 especies minerales posee casi 1% de Uranio x peso [16]. En cuanto a su relación directa con la cadena alimentaria es conocido, que el Uranio es un constituyente-trazo de rocas fosfáticas y las rocas

fosfáticas son utilizadas de manera extensiva como fuente de fósforo para fertilizantes y como fuentes de calcio y fósforo en el complemento dietético del suplemento animal [15,18,29]. Y desde el punto de vista de salud, el Uranio es el elemento traza tóxico más pesado, encontrado en suelos y plantas. Es uno de los principales precursores de los radionúclidos naturales emisores de radiaciones alfa ( $\alpha$ ), que son partículas altamente ionizantes y muy preocupantes a lo que respecta la salud del hombre, por la posibilidad de que tienen de inducir una mutación o dar comienzo a una carcinogénesis en el interior del organismo humano, con mayor eficiencia que los rayos X o los rayos gamma ( $\gamma$ ) [27,28].

- *La cadena alimentaria: una de las vías más importantes en la transferencia de las trazas radiactivas del medio ambiente al hombre.*

Entre los estudios anteriormente mencionados sobre los riesgos a la exposición de dosis baja de radiación, existe un marcado interés en la investigación de: a) los "mecanismos de transporte" de las sustancias radioactivas, a través de los diferentes caminos ambientales (atmosférico, terrestres, acuático y marino) y de b) los "mecanismos de transferencia" por los cuales éstas logran acceder al hombre. La investigación sobre estos mecanismos es de particular importancia en la protección radiológica de una población en general.

Dentro de los mecanismos de transferencia, tenemos la secuencia:

suelos, fertilizantes y complementos minerales →  
animales y vegetales → hombre

que es una de las vías de transferencia de las trazas radioactivas a través del medio ambiente al hombre y que por su sentido elemental y práctico asociado con la cadena alimentaria, es un importante eslabón a tener en cuenta en la protección radiológica de este.

Conocemos que, el proceso de "ingestión", es una de las formas más efectivas de incorporación o entrada de radionúclidos en el cuerpo humano, y de mayor preocupación además por su relación estrecha con los hábitos alimentarios en particular de una población. Siempre ha existido una preocupación en relación a esta incorporación y está dado porque estos radionúclidos al ingresar al cuerpo humano y ser retenidos internamente por diferentes procesos bioquímicos o metabólicos exponen directamente a órganos y tejidos internos a los efectos de las radiaciones ionizantes que ellos emiten, lo que siempre pueden causar daños biológicos que podrán ser mayores o menores en dependencia del tipo de radiación que estos emitan.

En el caso de contaminantes radiactivos naturales, como es el caso del uranio y sus hijos, que ingresan

en nuestros cuerpos a través de los alimentos, el agua y el aire que respiramos; casi siempre son fuentes de radiaciones de altos niveles de transferencias de energía (high LET<sup>1</sup> radiation), o sea fuente de radiaciones que son capaces de transferir grandes cantidades de energías en espacios muy pequeños de recorrido medio, por lo que pueden dar lugar a una "dosis interna local" que puede ser muy alta y cuantitativamente diferente en su efecto, de la que es capaz de originar una "dosis externa" proveniente de la misma radiación. Un ejemplo de estas radiaciones, son las radiaciones alfa ( $\alpha$ ), que son partículas pesadas y cargadas positivamente, emitidas por átomos de elementos tales como el uranio y el radio, que son además radiaciones de poco alcance o sea, de pequeño recorrido libre y que en general son incapaces de liberar significantes dosis cuando están externas a un sistema, porque pueden ser frenadas por pocos cm de aire, pero que sin embargo, al ser incorporado y absorbido su radionúclido emisor por tejidos u órganos del cuerpo humano, son capaces de liberar altas dosis local a la célula, que fue alcanzada en su paso y a la que pudo haber entregado toda su energía en su interacción.

La evaluación de estas "dosis interna local" o "puntual" por órganos o tejidos del cuerpo humano, son de gran importancia, en el estudio de los daños inducidos en el ADN por la desintegración del radionúclido incorporado. Esta evaluación nos permite además realizar un análisis de riesgo mucho más profundo y general, a una población, por una continua ingestión de trazas radionuclídicas en su dieta alimentaria.

En consecuencia y como respuesta a esta situación, el tema del nivel de exposición de los seres humanos a elementos o contaminantes radioactivos naturales, a través de las plantas y animales está siendo hoy en día ampliamente revisado [14-25].

Y es por ello que dentro de los radionúclidos naturales que se considera importante investigar en los estudios de contaminación ambiental vía suelos, fertilizantes y complementos minerales → animales y vegetales → hombres; con riesgos radiobiológicos para humanos, encontramos al uranio

- *Incorporación interna de radionúclidos naturales en el hombre*

La distribución interna de radionúclidos en humanos y animales de laboratorio ha sido intensamente estudiada en los últimos años de la mitad del siglo. Sin embargo hoy en día no se cuenta, para algunos casos, con suficiente información sobre su completa

distribución, mecanismos de transferencia y retención en el cuerpo humano y para muchos otros, escasean los datos experimentales. Se necesita para ello seguir profundizando en el estudio de la transferencia biocinética de estas trazas radionuclídicas en animales; profundizar en los estudios a niveles celulares y a los niveles moleculares de esta transferencia, que permitan obtener nuevos datos, en los procesos fisiológicos, metabólicos y radiobiológicos de estas trazas en el hombre.

Las particularidades en la naturaleza física y química de estos contaminantes, además de sus características nucleares, como vida media, propiedades de sus emisiones radioactivas (gamma, beta o alfa y hasta en algunos casos fragmentos de fisión), hacen realmente que los estudios de metabolismo y biodistribución, de tales contaminantes en cualquiera de los sistemas biológicos a analizar, sean realmente complejos.

Todos estos factores han conllevado, a la necesidad de desarrollar nuevos y complejos modelos biocinéticos, capaces de simular un escenario lo más real posible del intake - uptake y excreción de estos contaminantes en el organismo humano. Como ha sido necesario también el desarrollo de modelos capaces de describir de forma más pormenorizada, estimar y predecir, los efectos inicialmente originados por estos contaminantes radiactivos, en los otros sistemas biológicos a que son incorporados y que anteceden al hombre en su dispersión por los eslabones de la cadena alimentaria, como son en los animales y en las plantas.

Por otro lado, ha sido también necesario la puesta en ejecución de nuevos métodos experimentales de detección de estos contaminantes, cada vez más precisos, más prácticos, más directos y en esto las tecnologías nucleares han sido uno de los instrumentos utilizados más efectivos.

Por lo general, los radionúclidos naturales aparecen en los materiales biológicos en cantidades de trazas y con frecuencia es difícil determinar o realizar un análisis directo de tales pequeñas cantidades en este tipo de material, donde en la mayoría de los casos no es posible contar con mucha cantidad de muestra a analizar. Dentro de las técnicas nucleares ha sido ampliamente utilizada para determinar concentraciones de radionúclidos naturales emisores-( $\alpha$ ) en materiales biológicos, la técnica de "track-etch" o también conocida como técnica de trazas de fisión [15-20,22,24,26], por su sencillez, relativo bajo costo, posibilidades de repetibilidad y gran exactitud. Esta técnica consiste en exponer muestras sólidas a un flujo de neutrones

<sup>1</sup>LET- linear energy transfer

térmicos y detectar en detectores sólidos de trazas nucleares (SSNTD - solid state nuclear track detectors) los fragmentos de fisión, como resultado de la reacción (n,f), inducida al interactuar los neutrones térmicos con materiales fisionables tales como  $U^{238}$ ,  $Pu^{240}$ , que se encuentra presente en las muestras y a partir del registro de estos fragmentos en formas de trazas, es determinada la concentración del radionúclido en cuestión. Otras de las técnicas nucleares en las que se pudiera complementar el análisis de estos radionúclidos, se encuentran el análisis por activación neutrónica (AAN) y la emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE) incluyendo las técnicas de microhaces y combinaciones tipo PIXE-RBS (RBS - técnica de dispersión elástica de Rutherford) utilizadas en la determinación de la microdistribución de estos radionúclidos en tejidos biológicos.

- *La célula y las radiaciones ionizantes*

Hoy en día la comunidad científica internacional se encuentra en la verja de un nuevo ciclo de significantes descubrimientos relacionados con los daños y efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. El estudio de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los sistemas vivos es una de las líneas actuales de investigación a escala mundial. Disciplinas como la radioterapia, la radiomutagénesis, la protección radiológica y la del medio ambiente necesitan para su desarrollo, del conocimiento de estos efectos.

Como unidad básica y fundamental de la vida, la célula constituye el sistema de estudio preferencial de los efectos de las radiaciones ionizantes. Un efecto de la radiación puede ser expresado por el daño, que esta causa a la estructura química de la célula. La radiación puede ionizar cualquier átomo existente en los componentes de la célula. Como resultado se producen radicales químicos, componentes extremadamente reactivos, capaces de promover cambios químicos en las células y estos cambios pueden causar daños a las funciones celulares esenciales.

Es motivo de gran inquietud en la actualidad, el daño que las radiaciones pueden causar a la molécula de ADN<sup>2</sup> (o ácido desoxirribucleico) existente en el núcleo de la célula, por la incidencia, directa

que tiene este daño sobre la salud humana. Por la acción directa o indirecta de los radicales químicos, la radiación puede inducir cambios en la secuencia de las bases de los nucleótidos de una molécula del ADN y por lo tanto alterar el código genético. A este daño en el ADN, se le denomina mutación. Sin embargo, aún conociéndose que la célula tiene mecanismos reparadores eficientes a los cuáles pueda estar sujeta la mutación del ADN, puede existir la probabilidad de una reparación errónea. Es decir, la mayor parte del daño puede ser reparada. Pero es precisamente el daño remanente o mal reparado el que puede traer graves consecuencias para la célula afectada y su descendencia. Una célula dañada puede evolucionar de manera tal que cause efectos graves sobre la salud. Si la célula transformada es somática<sup>3</sup> puede ser la iniciadora de una enfermedad maligna (por ejemplo la iniciación de un cáncer), y si es germinal,<sup>4</sup> puede ser la iniciadora de enfermedades hereditarias.

En el estudio de los daños inducidos en la molécula del ADN, por la radiación ionizante del radionúclido incorporado en un organismo vivo, los efectos de las radiaciones de altos LET, tipo las radiaciones alfa ( $\alpha$ ), ocupan un espacio con un marcado interés, por su efectividad biológica ante las radiaciones X y gamma ( $\gamma$ ), en cuanto al daño no reparado o malamente reparado y al rompimiento de las cadenas del ADN y por la posible relación de estas lesiones con la inducción o iniciación de enfermedades malignas, como es el caso del cáncer. Y dentro de los contaminantes radiactivos tipo para este estudio tenemos al uranio.

Es por ello que utilizar herramientas teóricas y experimentales de la física nuclear, para esclarecer mecanismo y procesos en el campo de las Biociencias aún no entendidos por el hombre, es un desafío para los físicos de hoy. Es precisamente esto lo que nos inclina hoy hacia una dirección de investigación en la que se hace necesario fusionar los objetivos centrales de estudio de las ciencias nucleares y biotecnológicas, como son el átomo y la célula, en busca de resultados más esclarecedores. Estamos seguros que la aplicación unida, del conocimiento de estas dos ciencias, jugará un papel muy importante, además, en el despeje de una incertidumbre: los efectos que tienen para la salud, la exposición a la radiación ionizante de bajo nivel.

<sup>2</sup>El ADN es una molécula compleja que abarca numerosas unidades individuales o nucleótidos. Los nucleótidos constan de 4 tipos de bases complementarias denominadas adenina, guanina, timina y citosina. Las secuencias de las bases expresan el código genético.

<sup>3</sup>El cuerpo humano contiene  $\sim 10^{14}$  células. La gran mayoría de las células son células somáticas, es decir son aquellas que conforman la mayor parte del organismo.

<sup>4</sup>Un número relativamente inferior a las de las células somáticas transmite la información hereditaria del organismo a sus descendientes durante la reproducción: estas son las células germinales.

En nuestro desafío está latente la idea, de que probablemente la solución del debate científico sobre la determinación del efecto de las dosis de radiación bajas, y si ésta pueda o no representar algún riesgo de cáncer, se logre, no por la vía epidemiológica, que es una vía de análisis concluyente pero en este caso complicada, sino llegando a descubrir y a conocer los mecanismos de inducción, por medio de la biología molecular y es en esa dirección es hacia donde está dirigida nuestra investigación.

Pensamos que a través de las técnicas y metodologías nucleares podemos determinar aquellos radionúclidos que son significativos en este tipo de riesgo y de manera consecuente estudiarlos en detalles, tanto en lo que respecta a determinar su concentración, como evaluar el grado de exposición humana que provocan.

Bajo este escenario presentado es que consideramos de vital importancia concentrar estudios en aquellos contaminantes de significado radiológico que se encuentran en el medio ambiente de manera natural e investigar los mecanismos de absorción, transferencia y distribución desde suelos, fertilizantes y complementos minerales para plantas y animales y de estos al hombre en su proceso de ingestión. Ello nos permite poder realizar un análisis profundo de los riesgos y daños radiológicos a lo que esta expuesto el hombre, si tenemos en cuenta la incorporación a él de estas trazas radiactivas a través de su natural cadena alimentaria. No debemos olvidar que de poder controlar las incorporaciones de radionúclidos en el hombre, estamos preservando su seguridad y desde el punto de vista de seguridad ambiental, preservar su seguridad es garantizar también la seguridad del resto de los sistemas biológicos en la naturaleza.

Por lo que, la promoción de una investigación y desarrollo sobre el uso y aplicación de las técnicas nucleares, con el fin de incrementar la seguridad alimentaria y además favorecer el mejoramiento de la salud humana y de la protección del medio ambiente, responde a uno de los mayores intereses actuales de la comunidad científica internacional y es precisamente este, el objetivo principal en el actual proyecto de investigación que llevamos a cabo, junto al Instituto de Física de la Universidad de Sao Paulo- Brasil y otras instituciones nacionales y extranjeras. Y del que presentamos un resumen en el presente trabajo.

#### **Proyecto de investigación y colaboración "Estudio del uranio en la cadena alimentaria"**

Al final de la década de los '80 el grupo de Reacciones Fotonucleares y Fisión del Instituto de Física de la Universidad de Sao Paulo (SP)- Brasil, coordinado por el Prof. Dr. Joao Arruda-Neto,

comenzó un conjunto de actividades aplicadas, que comenzaron a desenvolverse paralelamente a las actividades tradicionales de la Física Nuclear Académica. Estas actividades aplicadas estaban dirigidas a introducir técnicas experimentales de la Física Nuclear en estudios relacionados con la Biotecnología, la Biofísica y el área de la Biomedicina. Esta nueva dirección de trabajo motivó a la formación de un grupo que poco a poco comenzó a establecer colaboración con grupos de otras instituciones en el país y en el exterior. Con estas Instituciones han sido planeadas varios proyectos de investigación y algunos de ellos ya han sido iniciados, como es el proyecto del "Estudio del Uranio en la cadena alimentaria" y en el cuál el Instituto de Ciencias y Tecnologías Nucleares de nuestro país tiene una participación directa.

Actualmente este grupo que se hace conocer ya a través de este escrito, como el grupo BIONUC, encerrando en esa palabra su principal objetivo, lo NUClear a disposición de las BIOciencias, se caracteriza por tener una composición multidisciplinaria y multistitucional. En él podemos encontrar estudiantes de todos los niveles, desde los de iniciación científica hasta estudiantes iniciados en sus estudios de doctorado. En él también están incluidos postdoctorados y profesores visitantes de la Universidad de Sao Paulo.

Dentro de las Instituciones básicas de colaboración del grupo en el Brasil se encuentran: el Instituto de Pesquisas Energéticas y Nucleares (IPEN), donde se realizan las irradiaciones de los materiales biológicos con neutrones; el Centro de Energía Nuclear en la Agricultura de Piracicaba (CENA), la Facultad de Veterinaria - SP, y la Universidad de Santo Amaro (UNISA- SP). Y dentro de las instituciones básicas en el exterior, se encuentra el Institute of Accelerating Systems and Applications, de la Universidad de Atenas, Grecia y el Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares de La Habana, Cuba; y de forma colateral colaboran el Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN), el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), el Centro de Inmunología Molecular (CIM), y el Centro de Bioactivos Marinos (CEBIMAR), de Cuba.

Para la realización del proyecto de investigación precitado en el texto, el grupo ha proyectado para la primera fase de la parte experimental el montaje de 3 Laboratorios pilotos para el estudio de la transferencia y distribución de las trazas de Uranio en animales y plantas [30].

#### **Ideas generales sobre su diseño experimental**

Para el estudio en animales inicialmente se proyectó un experimento piloto con ratas (ratas Wistar). Serian utilizadas 15 ratas, inmediatamente

después del destete con 15 días de edad aproximadamente. Se dividirían en 6 grupos (con 2 animales cada) y 1 grupo de control (con 3). Todos serían alimentados de forma permanente durante un largo período de ~60 días, y excepto al grupo de control, al resto se le mezclaría su ración con nitrato de uranio, en concentraciones variadas de uranio por grupo, entre los 0,5 y 100 ppm; con el objetivo de conocer el comportamiento de la transferencia del radionúclido (incluso por órgano del animal) ante diferentes concentraciones de uranio presentes en la dieta animal. Mensualmente, se recogerían muestras de uña, pelo, músculo, grasa y al final del experimento cuando el animal alcanzará la madurez, estos serían sacrificados y recogidos sus órganos como material biológico para su análisis con técnicas nucleares. Semanalmente serían también recogidas y analizadas: las heces, orina y muestras de sangre, atendiendo a un control de concentración de proteínas y excreciones del radionúclido.

El uranio transferido a órganos y partes del animal, sería determinado por la técnica de trazas de fisión con detectores sólidos, en este caso detectores de trazas plásticos (tipo Makrofol E), de 100  $\mu\text{m}$  de grosor, utilizando los neutrones térmicos del reactor del Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares de Sao Paulo (IPEN). Es un reactor de investigación IEA-RI, tipo piscina de 5 MW de potencia y capaz de alcanzar un flujo de neutrones en su salida de  $10^{13} \text{ n x seg}^{-1} \text{ x cm}^{-2}$ .

Es de interés del grupo realizar este experimento con otros animales, por ejemplo con perros Beagles, que aunque tengan metabolismos un poco diferentes a los de las ratas están más cercanos al del hombre, por lo que los datos que se obtengan además en un experimento tipo, realizado con ellos, permitiría validar de forma más consistente nuestros resultados, a la hora de ser extrapolados al metabolismo del hombre.

Para el estudio de absorción, transferencia y distribución de las trazas de uranio en plantas desde suelos, fertilizantes y complementos minerales,\* se proyectó montar un laboratorio piloto de hidroponía. En este ensayo, se utilizarían 6 cubetas plásticas, para una capacidad de 60 litros de agua. En el interior de cada una de ellas serían colocadas ~ de 75 a 100 gramos de hidrogel granulado, material que con frecuencia es utilizado en estos sistemas para sustentar las plantas. En cada cubeta se diseñó sembrar de 36 a 40 plántulas de algún vegetal en específico, teniendo en cuenta su frecuencia en los hábitos alimentarios de una población determinada y su sencillez en su cultivo. Las plántulas serían alimentadas con una solución de nutrientes dopadas con nitrato de uranio, con concentraciones de uranio entre 10-100 ppm, excepto las plantas de la cubeta de control; con el objetivo de correlacionar cantidades transferidas y concentraciones de

radionúclidos, que son simuladas en el experimento pero que pudieran estar presentes en suelos, fertilizantes y en complementos minerales, como fuentes, a partir de las cuáles las plantas se nutren. Durante todo el ciclo de crecimiento de la planta se controlaría el pH y la conductividad del agua, permitiendo monitorear el proceso de absorción de los nutrientes por la planta. El agua sería calentada por termalizadores, controlada su temperatura por termostatos y su oxigenación sería mantenida por pequeñas bombas de aire. Las plantas serían también mantenidas bajo un ciclo de iluminación de ~ 18 horas de luz y 6 horas de sombra y se esperaría para un crecimiento adecuado de las mismas entre 30-40 días para ser recogidas. No obstante, en el experimento está diseñado cada 5 o 7 días recolectar muestras de raíz, de tallo, de hojas externas e internas de las plantas, con el objetivo de conocer cuanto ha sido la absorción del radionúclido por partes del vegetal y como es el comportamiento de este proceso, para diferentes periodos de tiempo durante el crecimiento de la planta.

Las muestras de vegetal recolectadas serían incineradas y diluidas en ácido nítrico y fracciones de esta solución serían evaporadas sobre detectores sólidos de trazas de fisión para ser analizadas de la misma forma que en la experiencia con animales, utilizando la técnica de track-eched.

La técnica de cultivo "in vitro" es otra de las técnicas que por las características propias de la misma, es analizada por el grupo, para emplear en este estudio con plantas. Es de conocimiento, que parámetros tales como ventilación, esterilización, humedad, temperatura y luz, son estrictamente controlados en esta técnica, lo cuál permite mantener, condiciones esenciales en un medio, muy próximas a lo que se necesita para un crecimiento adecuado de las plantas y como de una manera alternativa poder realizar el estudio de absorción de uranio en plantas a nivel de Laboratorio.

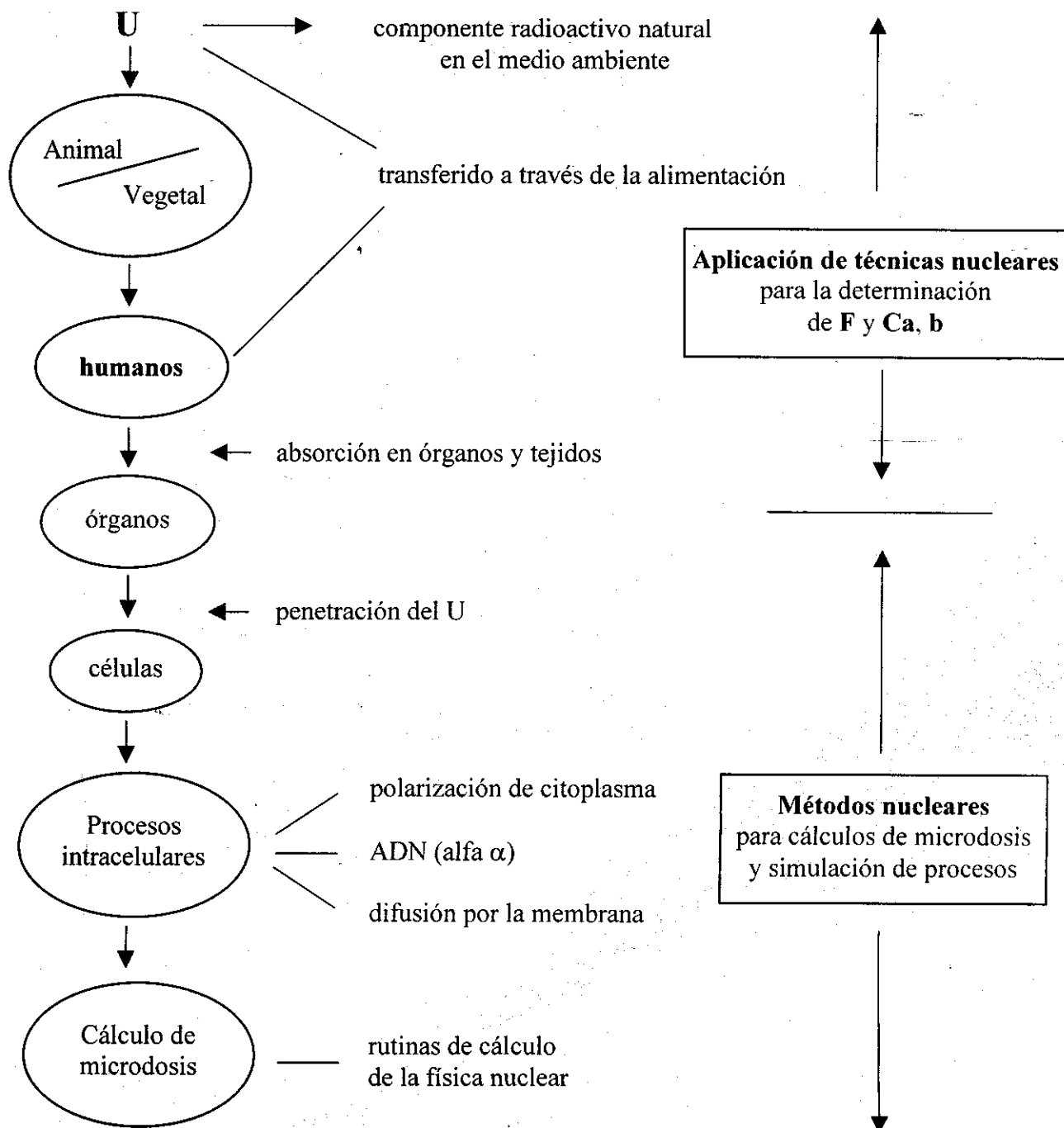
Como en una tercera fase del experimento se había diseñado realizar a nivel celular alguno de los estudios desarrollados en el laboratorio de hidroponía para plantas y utilizar para ello, el cultivo de microalgas. Una de las características más importante de las algas y sobre la cual pesó su selección es, de que además de ser microorganismos fotosintéticos y de ser ampliamente explotadas en diferentes líneas económicas y sociales, mostrando siempre un potencial inexplorado de posibilidades, las algas son unicelulares, sus órganos de reproducción están compuestos por una única célula, permitiéndonos obtener culturas muy puras, condición importante para los objetivos de nuestro estudio. Con este estudio a nivel celular, se pretende además determinar, la posible interferencia del uranio en el ciclo de absorción del fósforo por la planta, lo cual

está, entre uno de los problemas abiertos o pocos estudiados, en esta temática de investigación y que arrojaría sin duda interesantes conclusiones.

Otro ensayo a nivel celular importante en el desarrollo de la investigación y que sería ejecutado también de forma coordinada, es el análisis histológico de los componentes celulares en las muestras de tejidos y órganos de los animales sacrificados, buscándose entre otras cosas, detectar cualitativa y cuantitativamente la ruptura de las cadenas de ADN por la acción de las partículas alfa

emitidas por el uranio incorporado y haciendo además un énfasis en particular desde el punto de vista físico, en como los mecanismos de inducción de mutagénesis están relacionados con la efectividad biológica de la radiación densamente ionizante (high LET radiation), tratando de señalar además el papel que juega el tipo de radiación, en los efectos que provoca sobre la salud, la exposición de "bajos niveles de radiación". Este estudio es fundamental para los posteriores análisis más profundos sobre los daños y riesgos radiobiológicos de este tipo de exposición.

### ESTUDIO DEL URANIO EN LA CADENA ALIMENTARIA



## CONCLUSIONES

El efecto de las radiaciones ionizantes sobre los sistemas vivos, continua siendo una de las líneas actuales de investigación a escala mundial. En particular, el estudio de los efectos sobre la salud humana de las "dosis bajas de radiación" provenientes de fuentes de radiactividad natural, ha ido tomando un marcado interés en los últimos años y ha hecho que se amplíen las investigaciones científicas en esta dirección, como por ejemplo, la profundización en los estudios sobre el transporte y la transferencia de radionúclidos del medio ambiente al hombre.

Entre las vías de transferencia, por las cuales las trazas de radionúclidos se incorporan al organismo humano, se encuentra la cadena alimentaria. El uranio es un contaminante radioactivo natural, que puede estar presente, en ocasiones, en el suelo y en la alimentación animal en altas concentraciones, en dependencia de la procedencia y composición de productos utilizados en la agricultura para la fertilización de los suelos o de suplementos utilizados en la dieta animal. El uranio es un emisor

de partículas alfa, las cuales pueden originar dosis puntuales elevadas en el sistema vivo en que son depositadas, como es en el caso de los órganos de seres humanos, después de haber sido ingerido el radionúclido correspondiente, a través de plantas y animales por la vía natural de la cadena alimentaria.

El daño que estas radiaciones de alta transferencia de energía puedan causar a la molécula del ADN, es motivo de gran inquietud e importancia, por la incidencia directa que tiene el mismo sobre la salud humana. La validación de este daño radiológico y la estimación del riesgo relacionado con la inducción de cáncer en el hombre, constituye una motivación para los físicos de hoy que se inclinan a buscar un acercamiento aún más estrecho entre las ciencias nucleares y las ciencias biotecnológicas, como una necesaria fusión para dar respuestas a mecanismos y procesos en el campo de las Biociencias que aún no han sido lo suficientemente explicados.

El proyecto de investigación y colaboración que actualmente se desarrolla entre las entidades de Cuba y Brasil, sobre el "Estudio del Uranio en la cadena alimentaria" persigue este objetivo.

## REFERENCIAS

1. ALPEN, E.L. (1990): "Radiation Biophysics", 1st ed.
2. UNSCEAR (1993): "La radiación ionizante: fuentes y efectos biológicos", **Reporte**. Naciones Unidas, NY.
3. CUARON, ALFREDO (1994): "Aplicaciones Nucleares para la salud". **Boletín OIEA**, Viena, Austria, 36(4), 2.
4. PARR, ROBERT M. et al. (1994): "Salud y nutrición humana". **Boletín OIEA**, Viena, Austria, 36(4), 18.
5. "Quality assurance in biomedical neutron activation analysis", **IAEA- TECDOC-323**, Vienna, 1984.
6. GRUZIN, P.L., et al. (1981): **Memorias de la III Conferencia sobre aplicación de los aceleradores de partículas ionizantes en la economía**, Leningrado.
7. JOHNSON J.R. and M.B. CARVER: "A general model for use in internal dosimetry", **Health Phys.** 41, 341-348.
8. NILSSON, M. (1981): "Models for Simulation of Processes of Radioecological and Biomedical Transport of Radionuclides", **Dissertation, Radiation Physics**, Dept., Lund University, Sweden.
9. BRIESMEISTER, J.F. ed. (1993): "MNCP A General Montecarlo Nparticle Transport Code", Version 4<sup>a</sup>, LA-12625.
10. PRAEL, R. E. et al.: "User Guide to LCS: The LAHET Code System", **LA-UR-893014**.
11. **Detector Description and Simulation tool**, CERN Program Library Long, Writeups Q123.
12. MILLER, J.H. (1989): "Modeling the biological effectiveness of high-LET radiation", **Health Physics**, 57, Sup.1, 363-367.

13. AHMED, J.U. (1990): "Altos niveles de radioactividad natural", (Informe sobre la conferencia celebrada en Ramsar, Iran). **Boletín OIEA**, 33(2), p.36, 1991.
14. ASSIMAKOPOULOS, P.A. **et al.** (1993): "Transport of radiocesium from a sheep's diet to its tissues", **The Science of the Environment**, 136, 1-11.
15. ARRUDA-NETO, JOAO D.T. (1997): "Concentrations of Uranium in animal feed supplements: Measurements and dose estimates", **Journal of radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 221(1-2), 97.
16. PADAM SINGH, N.P. (1996): "Levels of Uranium in waters from some Indian Cities determined by fission track analysis", **Radiation Measurements**, 26(5), 683-687.
17. ARRUDA-NETO, JOAO D.T. (1989): "Abnormal concentration de U in many Brands of South American Cigarette Tobacco", **Health Phys.**, 57(5).
18. IZAK-BIRAN, T. **et al.** (1989): "Concentrations of U and Po in animal feed supplements, in poultry meat and in eggs", **Health Phys.** 56(3), 315.
19. FISENNE, ISABEL M., **et al.** (1987): "The daily intake of U-234,235,238; Th-228,230,232 and Ra-226,228 by New York city residents", **Health Phys.** 53(4), 357.
20. MAFRA, O.Y. **et al.** (1980): "Determination of Uranium content of tubers by the fission-track registration technique", **Health Phys.**, 4, 277.
21. Hamilton E. **et al.** (1972): "Concentration of Uranium in man and his diet", **Health Phys.**, 22, 149.
22. SING, S. **et al.** (1988): "A study of uranium uptake in plants", **Nuclear Tracks Radia. Meas.**, 15(1-4), 795-798.
23. LINSALATA, P. (1994): "Uranium and Thorium decay series radionuclides in human and animal food chains- a review", **Journal of Enviromental - Quality**, 23(4), 633.
24. CHEN-HUAILU (1992): "The uranium conten of vegetables determined by method of fission track", **International Conference on nuclear track in solids**, Beijing, China.
25. FRESQUEZ, P.R. (1995): "Radionuclide concentrations in fish", **LA-12899-MS**, Los Alamos National Lab.
26. WELFORD, GEORGE A. **et al.** (1967): "Uranium niveles in human diet and biological materials", **Health Phys** 13, 1321.
27. MAYS, CHARLES W. **et al.** (1985): "Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotopes", **Health Phys.** 48(5), 635.
28. HODGKINS, PAUL S. **et al.** (1996): "The severity of  $\alpha$  particle induced DNA damage", **Radiation Research**, 146, 660.
29. PASHOA, A.S, **et al.** (1984): "Aplication of SSNTD to the Brazilian phosfate fertilizer industry to determine uranium concentrations", **Nuclear Track and radiation Measurements**, 8(1-4), 469.
30. ARRUDA-NETO, JOAO D.T. **et al.** (1998): Proyecto de Pesquisa "Estudio del U en la cadena alimentaria. Fase: transferencia y distribuci+on en animales y hombre". Marzo.
31. ASSIMAKOPOULOS, P.A. **et al.**: (1991): "A general multiple-compartment model for transport of trace element throug animals", **Health Phys.** 61, 245-253.
32. \_\_\_\_\_ **et al.** (1995): "Ratios of transfer coefficients for radiocesium transport in ruminants", **Health Phys.**, 69(410).
33. BIRCHALL, A. (1986): "A microcomputer algorithm for solving compartmental models involving radionuclide transformations", **Health Phys.** 50(3), 389.

34. WRENN, M.E. **et al.** (1994): "A comprehensive metabolic model for uranium metabolism and dosimetry based on human and animal data", **Radiation Protection Dosimetry**, 53, 255.
35. SIMMONDS, J.R. **et al.** (1989): "A General model for the transfer of radioactive materials in terrestrial food chains", **Report NRPB-R89, National Radiological Protection Board, UK.**

# ESTUDIO E IMPLEMENTACION DE METODOS COMPUTACIONALES PARA LA RESOLUCION NUMERICA DE ECUACIONES EN DERIVADAS PARCIALES

Danny M. Martínez y Eduardo Menéndez Proupin, Facultad de Física-IMRE, Universidad de La Habana

## RESUMEN

Se presenta un estudio de la factibilidad y eficiencia de los métodos de diferencias finitas para la resolución de ecuaciones en derivadas parciales. Se resuelven varios problemas típicos del electromagnetismo y de la mecánica cuántica, proponiéndose su introducción en la práctica docente.

## ABSTRACT

A study of the factibility and efficiency of finite difference methods to solve partial differential equations is presented. These methods are illustrated in the solution of typical problems of electromagnetism and quantum mechanics. The introduction of these methods in teaching is proposed.

## I. INTRODUCCION

La mayoría de las ecuaciones en derivadas parciales que describen fenómenos físicos no tienen soluciones analíticas debido a la complejidad de las fronteras o a las características de la propia ecuación en los casos de fronteras separables. Ante esta realidad el enfoque de la era preinformática consistía en idealizar el problema: considerar fronteras de alta simetría (círculos, cuadrados, etc), linealizar las ecuaciones o desprestigiar algunos términos molestos, siempre intentando no perder la esencia del fenómeno estudiado. Aún en la era de los ordenadores portátiles y la Internet, este enfoque se utiliza con excelentes resultados en la ciencia y la tecnología. Sin embargo, hay situaciones en que no es posible simplificar el problema. En otras ocasiones, se pretende refinar los resultados obtenidos mediante los modelos simples extendiendo así las fronteras del conocimiento. Otras veces se estudia un conjunto de ecuaciones que se diferencian poco entre sí y se busca encontrar la ecuación que describe óptimamente el sistema investigado. En estas circunstancias, encontrar la solución analítica de cada ecuación, aun cuando es posible, demanda mucho trabajo y resulta ventajoso disponer de un método numérico que permita evaluar las soluciones rápidamente y escoger la ecuación que más convenga. La solución de esta ecuación óptima, puede entonces refinarse o expresarse en forma analítica.

En los *currícula* de las especialidades universitarias de Física en Cuba se aprecia una ausencia casi

total de entrenamiento en métodos numéricos, los cuales son incorporados al bagaje cultural del estudiante generalmente en los trabajos de curso y diploma, mas de manera fragmentada e incompleta. Una razón para esta deficiencia es la tradicional escasez de medios de cómputo potentes; otra, la falta de tradición "numérica" en nuestra comunidad física. Sin embargo, el acelerado desarrollo de los ordenadores personales y de las redes de cómputo posibilitan el replanteo del problema. Así, nos hemos propuesto evaluar la factibilidad de introducir algunos problemas en la práctica docente, que involucren la solución de ecuaciones en derivadas parciales. Hemos escogido las ecuaciones de Laplace, Poisson y Schrödinger, con varios tipos de fronteras, y las hemos resuelto mediante el método de diferencias finitas.

En el método de diferencias finitas, para resolver numéricamente una ecuación diferencial es necesario *discretizar* el problema, es decir, buscar la solución en un conjunto finito de puntos y aproximar nuestra ecuación diferencial por relaciones algebraicas que cumplen los valores de la función solución en estos puntos. A estas relaciones se les da el nombre de *ecuaciones en diferencias finitas*. Por ejemplo, si se considera una malla cuadrada  $x_i = ih$ ,  $y = jh$  ( $i, j = 0, 1, \dots, N$ ), siendo  $h$  la distancia entre puntos sucesivos, puede demostrarse que el laplaciano de una función  $u(x, y)$  se aproxima con exactitud hasta términos  $o(h^4)$  por la expresión en diferencias [1-4]

$$\left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \Big|_{(x_i, y_j)} = \frac{u(x_{i-1}, y_j) + u(x_{i+1}, y_j) + u(x_i, y_{j-1}) + u(x_i, y_{j+1}) - 4u(x_i, y_j)}{h^2} \quad (1)$$

Consideremos el caso simple de la ecuación de Laplace en un dominio cuadrado  $(x,y)$ :  $0 < x < a$ ,  $0 < y < a$ , con la función  $u(x,y)$  tomando ciertos valores en la frontera. Para resolverla en diferencias finitas se define una malla cuadrada con  $h = a/N$ . Igualando a cero el miembro derecho de la expresión (1) para todos los puntos interiores ( $0 < i, j < N$ ) se obtiene un sistema de  $(N-1)^2$  ecuaciones algebraicas siendo las incógnitas  $u(x_i, y_j)$  con  $1 < i, j < N - 1$ . Los valores de  $u(x_i, y_j)$  cuando  $i = 0$  ó  $N$  ó  $j = 0$  ó  $N$  están fijados por las condiciones de frontera.

En general, trabajaremos con una ecuación de la forma

$$L(u) = f, \quad (2)$$

donde  $L$  es cierto operador diferencial lineal y homogéneo,  $u$  la función incógnita y  $f$  cierta inhomogeneidad. Denotaremos por  $L(u)_{i,j}$  el operador discretizado actuando sobre la función, obtenido reemplazando las derivadas por sus aproximaciones en diferencias finitas [2] en una malla cuadrada. Denotemos también  $u(x_i, y_j) = u_{i,j}$  y  $f(x_i, y_j) = f_{i,j}$ . Esta última la consideraremos cuadrada, es decir,  $x_i = ih$ ,  $y_j = jh$  ( $i, j = 1, \dots, N-1$ ). Las ecuaciones discretizadas quedan

$$L(u)_{i,j} = f_{i,j}. \quad (3)$$

Trabajaremos con condiciones de frontera de Dirichlet; es decir, que están dados los valores de la función en las fronteras. Como puede suponerse de las notaciones, los problemas considerados son bidimensionales, pero la extensión a tres o más dimensiones es simple. También es fácil modificar las condiciones de frontera para tratar problemas más específicos.

Las ecuaciones discretizadas forman un sistema de ecuaciones lineales que tiene como incógnitas las  $u_{i,j}$  y puede resolverse por diversos métodos del álgebra lineal. Debido a la gran cantidad de incógnitas, los métodos directos, como el de Gauss, no son viables [5]. Por esta causa usualmente se emplean métodos iterativos, que requieren menos memoria RAM.

En este trabajo empleamos dos métodos para resolver iterativamente las ecuaciones diferenciales: Sobre-Relajaciones Sucesivas (SRC) y Multi-Malla Total (MMT) (Successive Over-Relaxation y Full MultiGrid en la literatura anglófona predominante). La programación de estos métodos se realizó en lenguaje FORTRAN con el compilador GNU Fortran 77 de Linux, con base en las rutinas sor.f, mglin.f y ran0.f del paquete Numerical Recipes 2.0. Los cálculos se realizaron en un microprocesador Pentium II a 233 MHz.

## 2. DESCRIPCION DE LOS METODOS

### 2.1 Sobre-Relajaciones Sucesivas

En general, los métodos de relajación consisten en iterar a partir de una aproximación inicial, corrigiendo en cada iteración según la ecuación (1)

$$u_{i,j}^{nueva} = u_{i,j}^{vieja} - \omega \cdot \frac{L(u^{vieja})_{i,j} - f_{i,j}}{\partial L(u^{vieja})_{i,j} / \partial u_{i,j}} \quad (4)$$

En dependencia del valor del parámetro  $\omega$  se habla de relajación ( $\omega = 1$ ), sub-relajación ( $\omega < 1$ ) o sobre-relajación ( $\omega > 1$ ). La sub-relajación se emplea cuando la naturaleza de la ecuación produce problemas de convergencia. Cuando estos no existen, la sobre-relajación conduce a una mejora en la velocidad de convergencia. Existen otros detalles técnicos para acelerar la convergencia, que referimos a la literatura [1].

### 2.2 Multi-Malla Total

Este método se basa en la utilización de varias mallas de diferente espaciamiento  $h$  (y por tanto diferente número  $N$  de puntos).

Escribamos nuestra ecuación en diferencias finitas para una malla de espaciamiento  $h$

$$L_h u_h = f_h. \quad (5)$$

En la ecuación anterior hemos omitido explícitamente los índices  $i$  y  $j$  para no hacer engorrosa la lectura. Sea  $\hat{u}_h$  cierta aproximación a la ecuación anterior y denotemos por  $u_h$  su solución exacta. El error o la corrección en  $\hat{u}_h$  será:

$$v_h = u_h - \hat{u}_h \quad (6)$$

El residuo o defecto, dada la linealidad del operador, estará dado por

$$d_h = L_h \hat{u}_h - f_h = -L_h(u_h - \hat{u}_h) = -L_h v_h \quad (7)$$

En lugar de resolver para  $v_h$  directamente, restringimos nuestra ecuación a una malla más gruesa, de espaciamiento  $H$  (tomaremos  $H = 2h$ ), utilizando un operador lineal de restricción  $R$  [1]. Esto significa trabajar con la ecuación  $L_H v_H = -d_H$ , donde  $d_H = R d_h$ . Entonces se halla una solución  $v_H$  y se prolonga esta solución a la malla fina mediante un operador lineal de prolongación  $P$ :  $v_h = P v_H$ . Finalmente calculamos una nueva aproximación:

$$\hat{u}_h^{nueva} = \hat{u}_h + v_h \quad (8)$$

Se agrega en la malla fina, antes y después del proceso descrito, cierto número, por lo general uno o dos, de iteraciones de relajación.

Hasta aquí solo se han utilizado dos mallas, pero el proceso puede extenderse de manera casi trivial a un número mayor de mallas, resolviéndose exactamente la ecuación en la malla más gruesa que se utilice. En esto consiste el método MMT, cuyo esquema general a grosso modo se muestra en la Figura 1. Con la selección  $H = 2h$  los tamaños de malla posibles están determinados por la relación  $N = 2^M + 1$ , con  $M = 1, 2, \dots$

Se parte de la malla más gruesa  $E$  donde se resuelve la ecuación en diferencias finitas exactamente o mediante el método SRS. A partir de aquí, subir implica pasar mediante interpolación a una malla más fina ( $h = H/2$ ) y bajar resulta en la restricción a una malla más gruesa ( $H = 2h$ ). En cada  $S$  se realizan varios pasos de relajación. Nótese que no se relaja hasta obtener convergencia, hemos usado típicamente 5 pasos. Finalmente, se obtiene la solución en la malla de espaciamiento mínimo. El proceso descrito, el paso desde la malla más fina a la que se ha llegado hasta la más gruesa y de vuelta a la más fina, se conoce como ciclo en  $V$ . El interior del rectángulo en la Figura 1 indica uno de estos ciclos. El tamaño de las  $V$  se va aumentando hasta llegar al tamaño de malla que se desea. El cálculo se optimiza mediante un parámetro: el número de ciclos en  $V$  de cada tamaño, que es igual a 2 en la Figura 1. Obsérvese que la ventaja del método proviene de resolver la ecuación en una malla de menor número de puntos, lo que se revierte en mayor rapidez. Los operadores de prolongación  $P$  y restricción  $R$  que utilizamos corresponden a lo que se conoce como interpolación bilineal y de pesado medio, respectivamente.

Como aproximación inicial, si la ecuación o las condiciones de frontera no son homogéneas, se pueden tomar  $u_{i,j} = 0$ . Por lo general la malla más gruesa  $E$  (Figura 1) se toma de  $N = 3$  porque la solución exacta a la ecuación en diferencias finitas es aquí inmediata.

### 2.3 Modificación para el problema de autovalores de la ecuación de Helmholtz

Veamos ahora el caso de la ecuación de Helmholtz

$$\begin{aligned} L &= \nabla^2 + e, \\ f &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

siendo  $e$  el autovalor, que toma valores discretos cuando se imponen condiciones de frontera en un dominio acotado.

El método de solución consiste, en rasgos generales, en darle un valor al parámetro  $e$  y obtener una aproximación para la función incógnita; luego, esta aproximación se usa para actualizar el valor del parámetro y se repite el procedimiento. Esta serie de aproximaciones sucesivas nos lleva a la obtención del autovalor y la autofunción correspondiente. Lo que hemos descrito funciona bien para el menor autovalor, pero no basta para obtener las soluciones de los demás autovalores. Recordemos, sin embargo, que las autofunciones correspondientes a autovalores diferentes son ortogonales, y que aquellas que corresponden al mismo autovalor en caso de degeneración pueden escogerse siempre de manera que sean ortogonales [3,4]. Resulta claro ahora que después de obtener la primera solución debemos intercalar en cada ciclo de actualización del parámetro y la función un paso de ortogonalización según el método de Gram-Schmidt respecto a las soluciones ya obtenidas.

Para la ecuación de Helmholtz el parámetro se actualizaría según la ley

$$e = \frac{-\sum_{i,j=1}^N \nabla^2(u)_{i,j} \cdot u_{i,j}}{\sum_{i,j=1}^N |u_{i,j}|^2} \quad (10)$$

La ecuación anterior se obtiene multiplicando la ecuación (3) (con  $L$  y  $f$  dados por (9)) por  $\sum_{i,j} u_{i,j}$  y despejando  $e$ . Si ya están calculadas  $K$  autofunciones  $v_{i,j}^k$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$ , ortogonales entre sí, y hemos obtenido una aproximación  $u_{i,j}$  para la autofunción  $K+1$ , el método de Gram-Schmidt indica reemplazar esta aproximación por

$$\tilde{u}_{i,j} = u_{i,j} - \sum_{k=1}^K \frac{\langle u | v^k \rangle}{\langle v^k | v^k \rangle} \cdot v^k, \quad (11)$$

donde

$$\langle u | v \rangle \equiv \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N u_{i,j} \cdot \bar{v}_{i,j} \quad (12)$$

es el producto escalar. Es conveniente normalizar las autofunciones  $v^k$  a medida que se van obteniendo pues así no se pierde tiempo calculando ni se necesita almacenar los valores de la norma de estas funciones para utilizarlos en el proceso de ortogonalización.

Debemos decidir en qué momentos del proceso de solución actualizar el valor del parámetro y forzar la ortogonalidad de las funciones. En el método SRS se pueden hacer ambas operaciones después de cada iteración de relajación o cada cierto número pequeño de las mismas para ganar en velocidad. En

el caso del MMT la situación se complica un poco. Nosotros hemos escogido para realizar las actualizaciones del parámetro  $e$ , el momento en que se está trabajando en la malla más fina a la que se haya llegado en cada  $V$ , tal como se indica en la Figura 1. La ortogonalización se aplica después de cada relajación siempre que la misma cambie la función de manera apreciable, lo que se expresa en una comparación de las normas de la variación y de la propia función.

Como aproximación inicial a las funciones  $u_{ij}$  se dan valores aleatorios a las mismas excepto en las fronteras, donde deben anularse. Es necesario hacer en el MMT una variación respecto al caso de las ecuaciones de Poisson y de Laplace. En estos, la malla más gruesa  $E$  (Figura 1) se toma de  $N = 3$  porque la solución exacta a la ecuación en diferencias finitas es aquí inmediata. En el caso del problema de autovalores y autofunciones se buscan varias funciones con simetrías diferentes y ortogonales entre sí. Cuando se está calculando la  $n$ -ésima autofunción, la malla más gruesa debe ser capaz de conservar la ortogonalidad respecto a las  $n-1$  autofunciones calculadas previamente. Por esta razón es imposible partir de la malla de  $N = 3$ , donde solo hay un punto que no es frontera. La solución a esta situación es modificar el esquema de la Figura 1 comenzando no desde el nivel más bajo  $E$ , sino desde cierto  $S$  con un grado suficiente de resolución; nosotros comenzamos en nuestros cálculos en  $N = 9$ . Esta selección nos permitió obtener los 10 primeros autovalores y autofunciones. Para calcular un número mayor de autoestados es necesario aumentar  $N = 2^M + 1$  para preservar la ortogonalidad.

### 3. APLICACION DE LOS METODOS Y RESULTADOS

#### 3.1 Ecuaciones de Laplace y Poisson

Considérese el problema de hallar el potencial electrostático en una región cuadrada libre de cargas, conociendo que el potencial toma en cada arista valores constantes. Esto es un problema de Dirichlet para la ecuación de Laplace. En este caso sencillo se puede obtener la solución analítica como una serie de Fourier. La solución, obtenida mediante el método de MMT y una malla fina de  $N = 129$  se muestra en la Figura 2 a). Comparando el resultado de diferencias finitas con el resultado analítico encontramos que en términos de la norma de las funciones, la solución numérica es exacta hasta un 0.04 %.

Otro ejemplo clásico es el caso de una elipse conductora colocada en un campo exterior uniforme bidimensional, o lo que es igual, un cilindro de base elíptica en un campo uniforme en tres dimensiones. Para hallar el campo eléctrico en la vecindad de la elipse se necesita resolver la ecuación de Laplace

en el exterior de la elipse, la condición de contorno es que en puntos infinitamente alejados de la elipse el campo eléctrico se uniforme. En la práctica, hemos resuelto la ecuación de Laplace en una región cuadrada cuyo lado es el triplo del eje mayor de la elipse, imponiendo la condición de potencial constante en los lados perpendiculares al campo y potencial lineal en los lados paralelos al campo externo. Este es un caso en que la solución analítica es muy complicada, pero para el método numérico no representa dificultad. Las curvas equipotenciales se muestran en la Figura 2 b).

En la Figura 2 c) se muestran las líneas equipotenciales en un capacitor de sección cuadrada. En este caso la solución analítica es muy compleja, pero se resuelve fácilmente con el método numérico. Usando la expresión en diferencias para el gradiente del potencial se puede calcular la densidad de carga en las placas del capacitor  $\sigma = \pm \nabla u / \epsilon_0$ , que se muestra en la Figura 2 d). Integrando  $\sigma$  se puede calcular la carga total y con esto, la capacidad del condensador.

A continuación presentamos un estudio de la velocidad de cálculo para los distintos métodos. Hemos tomado como banco de prueba el primero de los problemas resueltos. En la figura 3 se muestra el tiempo de cálculo en función del tamaño de la malla. Se aprecia que en ambos el tiempo es una función potencial del tamaño de malla. En general, el SRS es más lento que su análogo MMT y que el tiempo de cálculo para el mismo aumenta mucho más con el tamaño de malla: en el SRS se tiene aproximadamente una proporcionalidad con  $N^3$ , frente a una proporcionalidad con  $N^2$  para el MMT. Se necesitan tiempos de cálculo del orden de un minuto para obtener una solución en el MMT con una malla de  $N = 1025$ , mientras que en el SRS esto ya ocurre con  $N = 301$ . Para  $N \sim 300$  el MMT consume 60 veces menos tiempo. No obstante, el SRS tiene la ventaja de requerir menos memoria y ser de más fácil programación y adaptación a un problema concreto.

#### 3.2 Ecuación de Schrödinger

Consideremos la determinación de los estados estacionarios y niveles energéticos de una partícula de masa  $m$  que se mueve libremente en cierta región  $S$  del plano, confinada por una barrera de potencial infinita. O sea, precisamos resolver la ecuación

$$\left( -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 - E \right) \Psi(x, y) = 0 \quad (13)$$

con la condición  $\Psi = 0$  en la frontera de  $S$ . Si se introduce la magnitud  $e = 2mE/\hbar^2$ , la ecuación (13) adopta la forma típica de la ecuación de Helmholtz

$$\nabla^2 u + e \cdot u = 0. \quad (14)$$

Hemos considerado tres tipos de regiones: cuadrada, circular y elíptica.

En el caso en que S es un cuadrado de arista a es fácil hallar las soluciones analíticas

$$\Psi_{m,n}(x, y) = \frac{2}{a} \sin\left(\frac{\pi m x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi n y}{a}\right), \quad (15)$$

$$e_{m,n} = \frac{\pi^2}{a^2} (m^2 + n^2),$$

donde m y n son números naturales o 0. Esta solución nos servirá para comprobar la efectividad del método numérico.

Para el caso en que la región S es circular de radio R también resulta fácil encontrar las soluciones analíticas reales

$$\Psi_{v,n}^{(1)}(r, \theta) = J_v\left(\frac{x_{v,n} r}{R}\right) A_v \sin(v\theta),$$

$$\Psi_{v,n}^{(2)}(r, \theta) = J_v\left(\frac{x_{v,n} r}{R}\right) B_v \cos(v\theta), \quad (16)$$

$$e_{v,n}^{1,2} = \frac{x_{v,n}^2}{R^2},$$

donde  $v = 0, 1, 2, \dots$ ,  $n = 1, \dots$ ,  $J_v(x)$  son las funciones cilíndricas de Bessel, A y B son constantes de normalización de los estados degenerados (1) y (2).  $x_{v,n}$  es el n-ésimo cero de la función  $J_v(x)$ .

Hemos realizado cálculos con el método MMT en una malla cuadrada de  $N = 257$ . Para la región circular se hizo  $u_{i,j} = 0$  siempre que  $x_i^2 + y_j^2 \geq R^2$ , el proceso iterativo se aplicó solamente a los valores  $u_{i,j}$  para los cuales  $x_i^2 + y_j^2 < R^2$ . La Tabla 1 muestra la comparación del resultado numérico y el analítico para los autovalores de la energía adimensionalizada  $ea^2$ . Estos valores difieren a lo sumo en un 0.01 %. La Tabla 2 muestra los resultados para el caso de la región circular. En este caso el error del cálculo numérico es inferior al 0.7 %. Aquí se obtiene una menor exactitud debido a que la frontera del círculo no coincide en general con los puntos de la malla y por lo tanto queda un tanto indefinida, situación esta que mejora en la medida en que la malla tenga más resolución. Si consideramos que la indeterminación en el radio del círculo está dada por

$$\frac{\delta_R}{R} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot h}{R} = \frac{\sqrt{2}}{N-1} \quad (17)$$

y sabiendo que  $e \propto R^{-2}$  tendremos el estimado  $\delta_e/e = 2\delta_R/R \sim 0.95\%$  para  $N = 257$ .

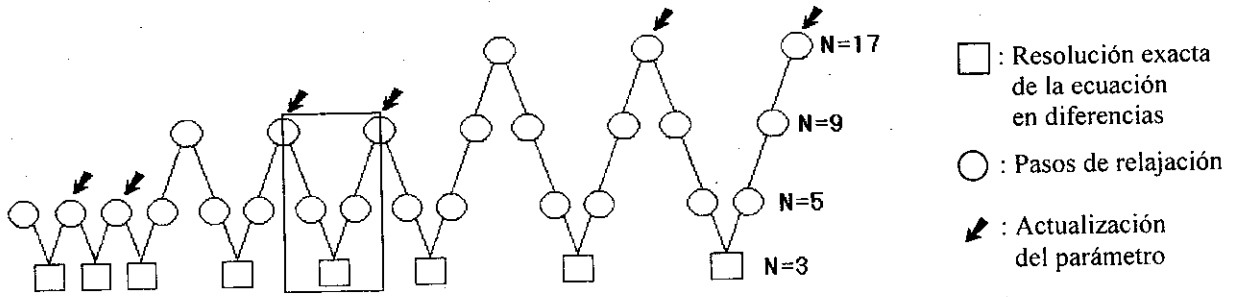
**Tabla 1.** Comparación de los valores de la energía adimensional obtenidos por vía numérica con los valores exactos para la región cuadrada.

m, n	$\frac{ea^2}{\pi^2}$	$\frac{ea^2}{\pi^2} \equiv m^2 + n^2$
1, 1	1.99998	2
1, 2	4.9999	5
2, 1	4.9998	5
2, 2	7.9996	8
1, 3	9.9993	10
3, 1	9.9993	10
2, 3;	12.9991	13
3, 2	12.9992	13
1, 4	16.998	17
4, 1	16.998	17
3, 3	17.999	18
2, 4	19.998	20
4, 2	19.998	20

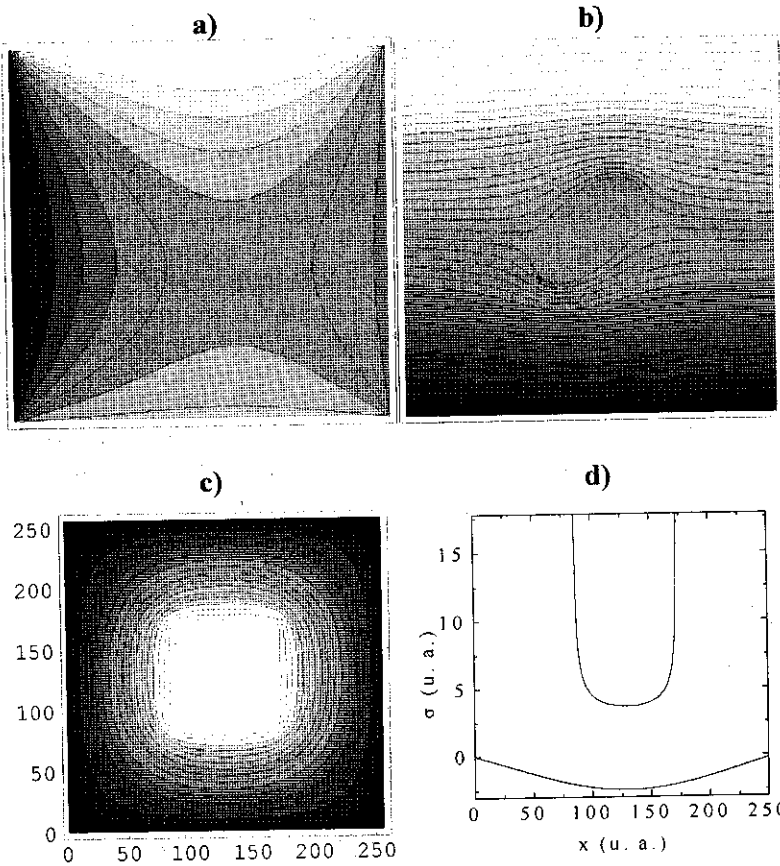
**Tabla 2.** Comparación de los valores de la energía adimensional obtenidos por vía numérica con los valores exactos para la región circular.

v, n	$ea^2$ (numérico)	$ea^2$ (analítico)
0,1	25.6	25.7
1,1	64.9	65.2
0,2	134.6	135.4
2,1	116.6	117.2
1,2	217.5	218.7
0,3	330.9	332.8
3,1	179.9	180.9
4,1	254.3	255.9
3,2	313.0	314.9
5,1	339.9	342.0

En las Figuras 4 y 5 se muestran las curvas de contorno de las funciones de onda para los 8 primeros niveles de energía en las regiones circular y elíptica, respectivamente. Para el caso de la región circular es interesante notar que las funciones de onda de estados degenerados que se obtienen son combinaciones lineales de las  $\Psi_{v,n}^{(1)}$  y  $\Psi_{v,n}^{(2)}$ . Las parejas de estados degenerados en la Figura 5 son b) y c), d) y e), o g) y h). Para obtener los estados  $\Psi_{v,n}^{(1)}$  o  $\Psi_{v,n}^{(2)}$  es necesario introducir la simetría en la aproximación inicial a la autofunción. Esto indica también que la simetría de la malla subyacente no influye en el cálculo.



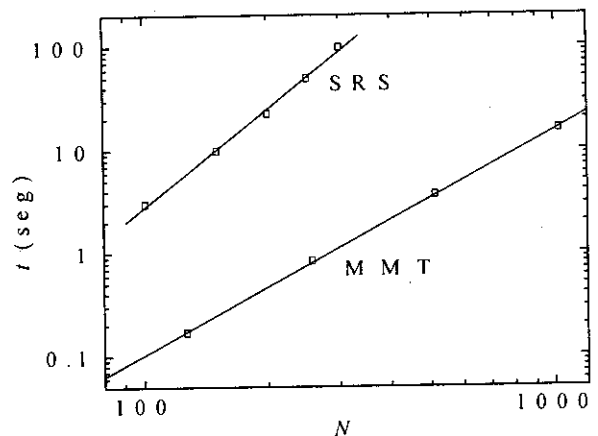
**Figura 1.** Esquema general del método MMT. La actualización del parámetro  $\epsilon$  se efectúa sólo en el problema de autovalores. El rectángulo indica un ciclo en V.

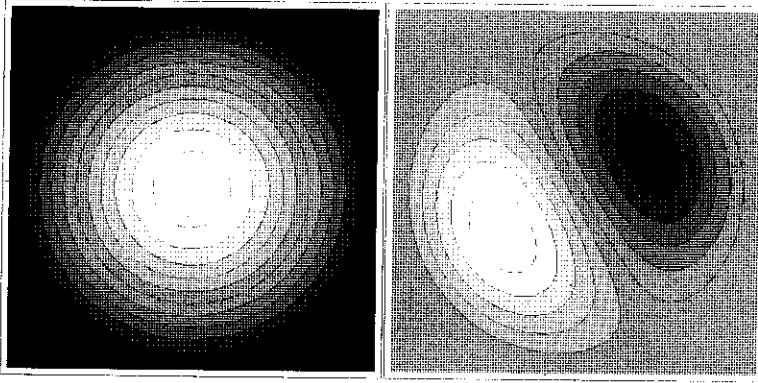


**Figura 2.** Potencial electrostático de:

- a) interior de un cuadrado cuyas aristas tienen potenciales constantes y diferentes entre sí,
  - b) elipse conductora en un campo eléctrico externo homogéneo,
  - c) capacitor de sección cuadrada.
- en d) se muestra la densidad superficial de carga en las placas del capacitor del inciso c) a lo largo de una de las aristas.

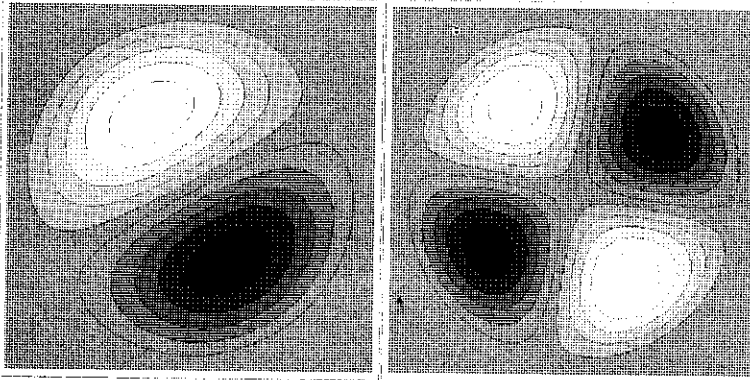
**Figura 3.** Tiempo de cálculo en función del tamaño de la malla para los métodos de Sobre-Relajaciones Sucesivas (SRC) y Multi-Malla Total (MMT) aplicados al cómputo del potencial electrostático en un capacitor de sección cuadrada.





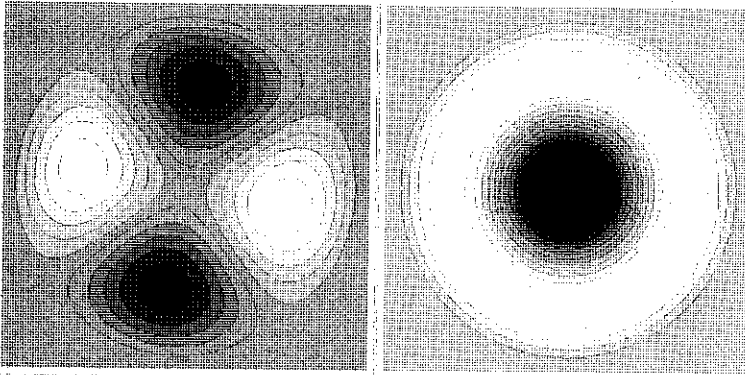
a)

b)



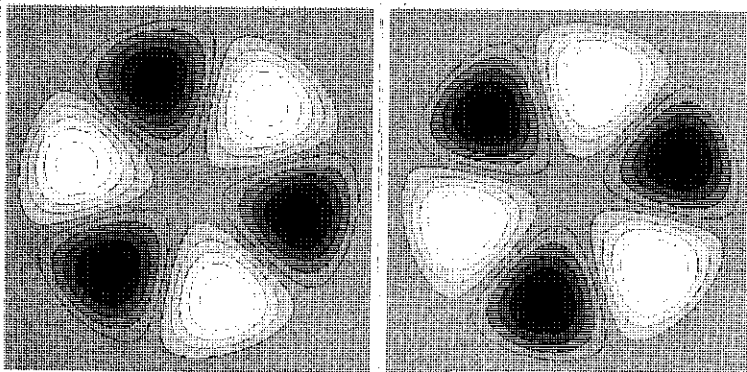
c)

d)



e)

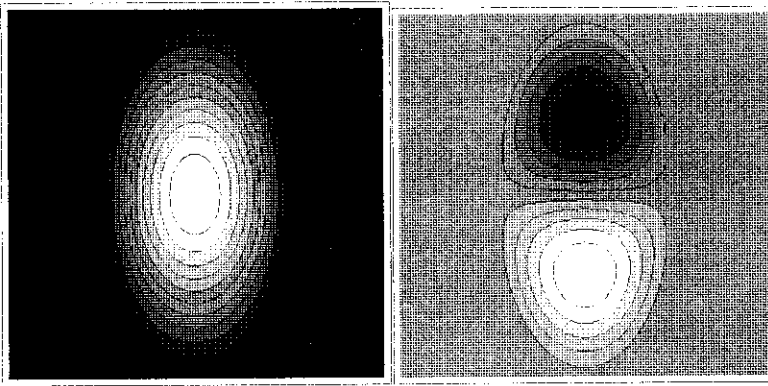
f)



g)

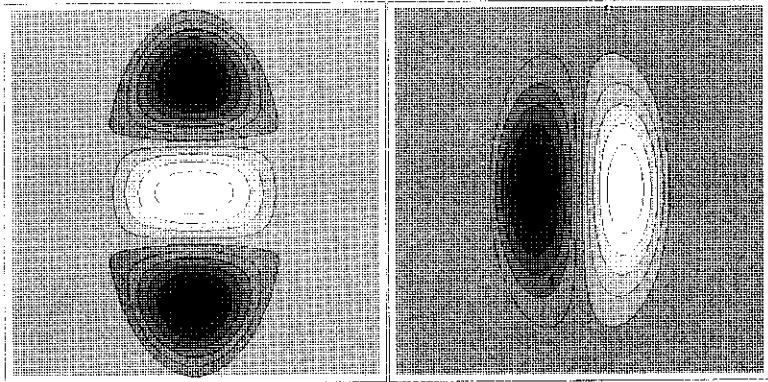
h)

**Figura 4.**  
Primeras 8 autofunciones  
de la ecuación de Schrödinger  
en una región circular.



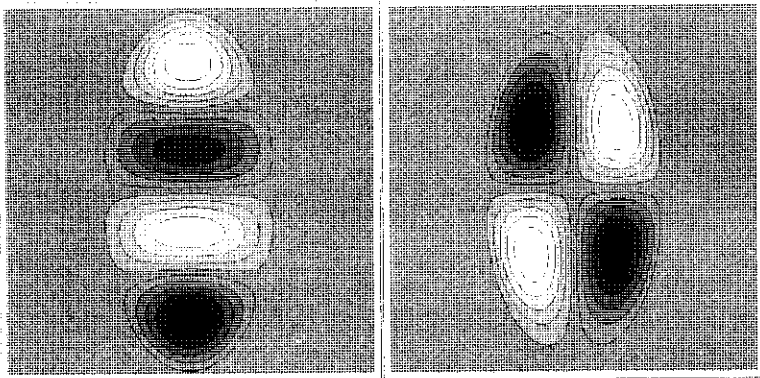
a)

b)



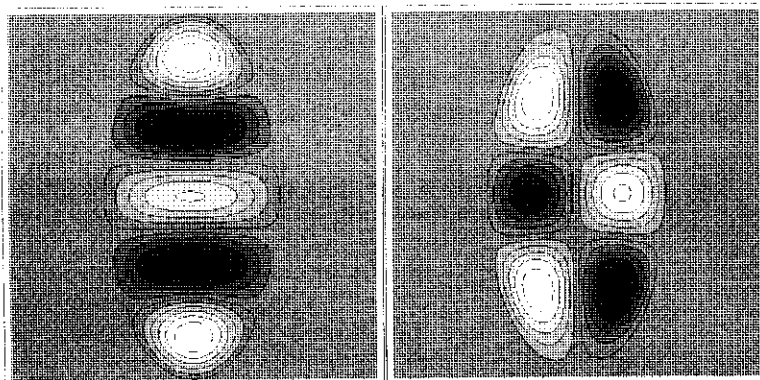
c)

d)



e)

f)



g)

h)

**Figura 5.**  
Primeras 8 autofunciones  
de la ecuación de Schrödinger  
en una región elíptica.

#### 4. CONCLUSIONES

Hemos comprobado la factibilidad de resolver ecuaciones en derivadas parciales utilizando ordenadores personales y rutinas comerciales en FORTRAN 77. Los métodos de SRS y MMT constituyen un buen punto de partida para emprender la búsqueda de soluciones numéricas de ecuaciones diferenciales. Su implementación resulta considerablemente sencilla y eficiente utilizando las bibliotecas comerciales. La comparación entre ambos métodos muestra que el método de SRS es de más fácil programación, pues se basa en una idea mucho más sencilla y consume menos espacio en memoria. En contraste, el método de MMT, aunque más complejo de implementar, es mucho más rápido que el SRS. El tiempo de cálculo es proporcional en el SRS a  $N^3$  y

en el MMT a  $N^2$  (N de la malla más fina). Hemos presentado una extensión del método MMT para resolver problemas de autovalores y autofunciones. Hemos aplicado estos métodos a la solución de problemas del electromagnetismo y de la mecánica cuántica, los cuales son susceptibles de ser incorporados a la práctica docente en la especialidad de Física y afines. Todos estos métodos son extensibles fácilmente a tres dimensiones.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros colegas José Marín Antuña y Arezky Hernández Rodríguez por la lectura crítica de este documento y por sus útiles sugerencias a lo largo de esta investigación.

#### REFERENCIAS

1. PRESS, W. H.; S.A. TEUKOLSKY; W.T. VETTERLING and B.P. FLANNERY (1992), "Numerical Recipes in FORTRAN 77: The art of scientific computing", 2da. ed., Cambridge University Press.
2. GOMEZ MONTENEGRO, A. y L. ALVAREZ DIAZ (1991): "Métodos numéricos del análisis matemático", Editorial Academia, La Habana.
3. TIKHONOV, A. N. y A.A. SAMARSKII (1969): "Equations of mathematical physics", Instituto del Libro, La Habana.
4. MARIN ANTUÑA, J. (1992): "Métodos matemáticos de la física", Universidad de La Habana.
5. Los métodos directos son aquellos que permiten obtener la solución empleando un número finito de operaciones, generalmente involucran la inversión o diagonalización exacta de matrices de dimensión igual al número de incógnitas.

# ALGUNAS CUESTIONES ELEMENTALES SOBRE LA CARACTERIZACIÓN TOPOLOGICA DE CONJUNTOS EXTRAÑOS EN LA RECTA REAL

C. Trallero Herrero\*, W. Pardo Tamayo\*\* y R. Pérez Alvarez\*\*

\*ISCTN, Quinta de los Molinos, Ciudad de La Habana

\*\*Dpto. de Física Teórica, Universidad de La Habana

## RESUMEN

Se analizan diversos métodos de caracterización topológica de conjuntos en la recta real. En particular se estudia la dimensión dependiente del índice  $q$ - $D(q)$ - y la rigidez, concluyéndose que ambas toman valores notables para conjuntos no extraños.  $D(q)$  resulta idénticamente igual a la unidad y la rigidez igual a cero, esta última depende como  $L^4$  con la longitud  $L$  del intervalo cuando este tiende a cero.

## ABSTRACT

We analyze some methods to characterize topologically strange and normal sets of real numbers. In particular we focus on  $q$ -dependent dimension and the stiffness. We conclude that both magnitudes take significant values for non-strange sets, i.e.  $D(q)$  is identically one and the stiffness is equal to zero. The later goes to zero as  $L^4$ ,  $L$  being the length of the interval.

## INTRODUCCION

En varios campos de la Física y la Matemática están apareciendo cada vez con más frecuencia conjuntos de puntos *extraños* [1-12]. Estos se caracterizan por tener propiedades topológicas poco vistas como son, por ejemplo, medida de Lebesgue cero, dimensión fractal, etc. Los atractores de una gran cantidad de ecuaciones diferenciales están comprendidos entre estos conjuntos [7-12]. Los espectros de excitaciones elementales (electrones, fonones, ondas de spin, etc.) en Heteroestructuras Cuasiregulares con mucha frecuencia exhiben también estas propiedades [1-6].

Para caracterizar a estos conjuntos se han introducido, además de la definición de **medida de Lebesgue**, distintos conceptos de **dimensión**, el concepto de **rigidez**, el **análisis de espaciado de puntos**<sup>1</sup>, **los exponentes de escalado**, la **entropía métrica**, **exponentes de Lyapunov**, y aún otros. La definición de medida de Lebesgue puede verse en un sinnúmero de textos por lo que aquí no nos ocuparemos de este concepto. Vea por ejemplo el excelente libro [13]. Tampoco prestaremos atención a todos los demás cuantificadores de la *extrañeza* de un conjunto.

En el presente trabajo nos limitaremos a conjuntos sobre la recta real y a los conceptos de dimensión dependiente del índice  $q$ - $D(q)$ - y al concepto de rigidez. En estos dos conceptos sucede que su

introducción y aplicación ha ocurrido en conjuntos que se saben extraños pues tienen una distribución de puntos que sigue una Escalera del Diablo. Desde el punto de vista metodológico nos parece importante analizar qué sucede con estos conceptos en conjuntos no extraños, cuya distribución de puntos tenga propiedades analíticas más convencionales.

Por completitud comentaremos la aplicación de estos dos conceptos al conjunto que en muchos aspectos es el prototipo de conjunto extraño: el conjunto de Cantor, para después pasar a nuestro objetivo fundamental. Demostraremos que los conjuntos con densidad de puntos integrada<sup>2</sup> diferenciable poseen dimensión igual a la unidad para todo  $q$  y una rigidez que tiende a cero con el ancho del intervalo  $L$  como  $L^4$  a la cuarta potencia. Estos serían conjuntos normales o no extraños.

### Conjunto de Cantor

El conjunto de Cantor se define de una manera relativamente simple: partimos del intervalo  $[0, 1]$  de la recta real, lo dividimos en tres partes iguales y nos quedamos con los dos intervalos extremos ( $[0, 1/3]$  y  $[2/3, 1]$ ); con cada uno de estos dos intervalos repetimos la operación y tenemos entonces cuatro intervalos ( $[0, 1/9]$ ,  $[2/9, 1/3]$ ,  $[6/9, 7/9]$  y  $[8/9, 1]$ ); el conjunto de Cantor es el límite de este procedimiento cuando hacemos la operación infinitas veces. Por comodidad llamaremos Conjunto de Cantor de

<sup>1</sup>LSA, o *Level Spacing Analysis*, en inglés.

<sup>2</sup>IDOP, o *Integrated Density of Points*, en inglés.

orden  $n$ ,  $C_n$ , al conjunto que se obtiene después de aplicar  $n$  veces la regla, de manera que

$$C_0 = [0, 1],$$

$$C_1 = [0, 1/3] \cup [2/3, 1]$$

$$C_2 = [0, 1/9] \cup [2/9, 1/3] \cup [6/9, 7/9] \cup [8/9, 1],$$

y así sucesivamente.

Resulta útil definir otros conjuntos de manera similar. Así, por ejemplo, podemos realizar el procedimiento partiendo de otros intervalos y/o haciendo la división en tres partes no iguales, o en otro número de partes, etc. Muchos de estos conjuntos obtenidos por pequeñas modificaciones del procedimiento tienen propiedades iguales o muy semejantes al conjunto de Cantor *canónico*.

Aquí nos limitaremos a mencionar que está probado que el conjunto de Cantor tiene medida de Lebesgue cero [13].

La frase *conjunto de Cantor* se usa también en un sentido más amplio para designar a cualquier conjunto con ciertas propiedades topológicas generales aunque no haya sido generado por ninguna regla similar a la del conjunto de Cantor canónico [14]. En el presente trabajo nos bastará la definición en sentido estrecho.

Es un hecho conocido que los conjuntos de Cantor, y con ellos todos los denominados *extraños*, poseen una IDOP con la forma de *Escalera del Diablo*. Este hecho es importante para lo que sigue pues asumiremos que los conjuntos no *extraños* son esencialmente aquellos cuya IDOP es diferenciable y por lo tanto se pueden describir por una densidad de puntos.

### Dimensión D(Q)

Dado un conjunto de puntos de la recta real, y un sistema de cajas disjuntas de ancho  $\delta$  cuya unión cubra a todo el conjunto, su distribución se puede describir a través de las cantidades  $p_j$  que dan la proporción de puntos del conjunto que están en la caja  $j$ -ésima. Entonces se define la dimensión  $D(q)$  como

$$D(q) = \frac{-1}{1-q} \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log \sum p_j^q}{\log \delta}$$

La aplicación directa de esta definición al conjunto de Cantor canónico da que

$$D_{\text{Cantor}}(q) = \frac{\log 2}{\log 3}$$

para todo  $q$ .

Veamos ahora qué pasa en el caso de un conjunto no *extraño*. Con un sencillo cálculo se puede probar que si la IDOP es derivable esta dimensión es igual a uno para todo  $q$ . En efecto, en dicho caso la derivada de la IDOP sería una densidad de puntos normalizada a la unidad  $\Omega(x)$ , de manera que en un entorno de un punto  $x_j$  habría una proporción de puntos del conjunto dada por

$$p_j = \Omega(x_j)\delta$$

donde  $\Omega$  es la Densidad de Puntos del conjunto y  $\Omega'$  es la derivada de la IDOP. Entonces

$$D(q) = \frac{-1}{1-q} \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log \sum p_j^q}{\log \delta} =$$

$$D(q) = \frac{-1}{1-q} \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log \sum \Omega_j^q \delta^q}{\log \delta} =$$

$$D(q) = \frac{-1}{1-q} \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log \sum \Omega_j^q \delta + \log \delta^{q-1}}{\log \delta} = 1$$

En este último paso hemos usado que  $\sum \Omega_j^q \delta^q$  es la suma de Riemann de la integral de  $\Omega^q$ .

### Rigidez

Supongamos que tenemos un conjunto de puntos caracterizado por la IDOP  $P(x)$ . Llamemos  $L$  a un intervalo del eje real contenido totalmente en el dominio de  $P(x)$ . Entonces se define la rigidez como

$$A(L) = \frac{1}{L} \min_{A,B} \int [P(x) - Ax - B]^2 dx$$

La integral se extiende al intervalo  $L$  en cuestión. No conocemos que se haya estudiado la rigidez de un conjunto de origen geométrico como el de Cantor. Se conocen los casos límite para  $\Delta$  de algunos sistemas físicos. En particular de la teoría de Matrices Aleatorias, se sabe que esta tiende a cero con la longitud del intervalo [15, 16]. Veamos entonces qué pasa con un conjunto no *extraño*.

Supongamos que la IDOP de nuestro conjunto es diferenciable. Entonces,

$$P(x) = P(0) + P'(0)x + o(x)$$

donde  $o(x)$  es un infinitésimo de orden superior a  $x$ , normalmente de orden  $x^2$ . Sustituyendo esta expresión para la IDOP en la definición de Rigidez llegamos a que los coeficientes  $A$  y  $B$  que hacen mínima la integral valen precisamente  $P(0)$  y  $P'(0)$ . Y de aquí resulta fácilmente que la rigidez se anula para  $L = 0$ , y tiende a este valor según la cuarta potencia de la longitud del intervalo. Pudiera pasar que el término cuadrático en el desarrollo de  $P(x)$  se anule. La rigidez entonces tendería a cero según la

potencia  $2m$  de  $L$ , siendo  $m$  la potencia del primer término no nulo.

Se puede probar también fácilmente que una definición más general, poniendo polinomios de orden  $n$  en lugar de rectas, da un resultado semejante con una potencia que es igual a  $L^{2n}$ .

Debemos señalar que la suposición anterior es también válida para la IDOP de conjuntos extraños, tomando la parte suave (continua) de ésta después de un procedimiento de "unfolding" [16].

## CONCLUSIONES

La caracterización topológica de conjuntos extraños es hoy día una herramienta ineludible para la Física y la Matemática. Desde el punto de vista metodo-

lógico es importante saber qué valores toman las magnitudes que se introducen para caracterizar la *extrañeza* en el caso de conjuntos no extraños. De ahí nuestro interés en calcular la dimensión fractal  $D(q)$  y la rigidez  $\square$  para conjuntos no extraños. Hemos probado que un conjunto *normal* tiene  $D(q) = 1$  para todo  $q$ , y que la rigidez de estos conjuntos tiende a cero como  $L^4$ .

## AGRADECIMIENTOS

Dos de los autores (C.T.H. y R.P.A.) agradecen numerosas y estimulantes discusiones con Federico García Moliner y Víctor R. Velasco, así como la hospitalidad de la Universidad *Jaume I*, Castellón de la Plana, España, donde parte de este trabajo fue realizado.

## REFERENCIAS

- [1] PEREZ ALVAREZ, R. and F. GARCIA MOLINER (2001): "Quasiregular Heterostructures", capítulo invitado en "Contemporary Problems of the Condensed Matter Physics", **Nova Science Publishers**, ed. por S. Vlaev y M. Gaggero-Sager.
- [2] MACIA, E. and F. DOMINGUEZ ADAME (2000): "Electrons, phonons and excitons in low dimensional aperiodic systems", Madrid, Editorial Complutense.
- [3] PEREZ ALVAREZ, R.; F. GARCIA MOLINER and V.R. VELASCO (2001): "Some elementary questions in the theory of quasiperiodic heterostructures", **Journal of Physics: Condensed Matter**, 13, 3689-3698.
- [4] HALSEY, T.C.; M.H. JENSEN, L.P. KADANOFF, I. PROCACCIA and B.I. SHRAIMAN (1986): "Fractal measures and their singularities: the characterization of strange sets", **Phys. Rev. A**, 33, 1141-1151.
- [5] MARTIN RODRIGUEZ, A. (2000): "Análisis fractal: algunas aplicaciones", **Revista Cubana de Física**, 17(1,2), 47-49.
- [6] PEREZ ALVAREZ, R.; C. TRALLERO-HERRERO and F. GARCIA MOLINER: "1D Transfer Matrices", Aceptado en **European Journal of Physics**.
- [7] MANDELROT, B.B. (1983): "The Fractal Geometry of Nature", eds WH Freeman and Company, New York.
- [8] KAPLAN, D.E. and L. GLASS (1995): "Understanding nonlinear dynamics", Springer Verlag, New York.
- [9] MOON, F.C. (1992): "Chaotic and fractal dynamics", Wiley-Interscience, New York.
- [10] OTT, E.O. (1993): "Chaos in dynamical systems", Cambridge University Press.
- [11] HILBORN, R.C. (1994): "Chaos and nonlinear dynamics", Oxford University Press.
- [12] RASBAND, S.N. (1997): "Chaos dynamics of nonlinear systems", Wiley Professional Paperback Series.
- [13] WILCOX, H.J. and D.L. MYERS (1994): "An Introduction to Lebesgue Integration and Fourier Series", **Dover Publications Inc**.
- [14] KURATOWSKY, K. (1967): "Set Theory and Topology", edición Revolucionaria, La Habana.

[15] LOPEZ ARIAS, MT.; V.R. MANFREDI and L. SALASNICH (1994). "From regular to chaotic states in atomic nuclei", **Rivista del Nuovo Cimento**, 17(5), 1-45.

[16] GHUR, T.; A. MÜLLER-GROELING and H.A. WEIDENMÜLLER (1998): **Phys. Rep.** 299, 189.

# POLARIMETRO AUTOMATICO INFRARROJO LASERPOL NIR

Justo Ravelo<sup>1</sup>, Víctor Fajer, Luis W. Mora, Humberto Fernández, Juan C. López, Gladys Cossío y Danny Rodríguez, Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN)

## RESUMEN

En el presente trabajo se describe el diseño y concepción general del polarímetro infrarrojo LASERPOL NIR. En la introducción se argumenta la necesidad de su utilización y las ramas donde tiene una utilización válida. Más adelante se justifica la longitud de onda seleccionada dentro de la zona infrarroja cercana (783 nm), se describe el principio de funcionamiento, sus características técnicas y se presentan las mediciones realizadas con el mismo y su comparación con las realizadas en un polarímetro de calidad internacionalmente reconocida.

## ABSTRACT

Presently work is described the design and general conception of the infrared polarimeter LASERPOL NIR. The necessity of their use and the branches, where it has a valid utilization are argued in the introduction. It later on justify the selected wavelength within the near infrared zone (783 [nm]); the principle of operation and their technical features has been described. Polarimetric measurements carried out are presented and they has been compare with them carried out in a polarimeter of quality internationally recognized.

## INTRODUCCION

En los laboratorios de análisis donde se emplea el método polarimétrico para la determinación de la concentración u otras propiedades con frecuencia se deben analizar sustancias que no son transparentes a la luz visible y tienen necesidad de utilizar el subacetato de plomo para clarificar. La disminución del empleo del subacetato de plomo en la clarificación en las industrias y laboratorios es una cuestión de extraordinaria atención debido a la incidencia nociva de esta sustancia en la naturaleza, especialmente en la naturaleza animal. El riesgo de ingestión por animales y daño al suelo aumenta con el vertimiento de esta sustancia al medio en cantidades apreciables (en nuestro País más de 10 t al año por la industria azucarera [1]).

En algunos países desarrollados se han aplicado diversas técnicas para eliminar este contaminante, (Alemania, Estados Unidos y Gran Bretaña) con resultados satisfactorios. A partir de agosto de 1990 las disposiciones federales norteamericanas prohíben el vertimiento del subacetato de plomo al medio por cualquier vía. Adicionalmente las industrias que utilizan dicho contaminante son emplazadas públicamente para que informen cómo realizan sus análisis y planes de tratamiento de estos desechos. Como resultado de estudios en la década del 80 la Dirección Regional de Contaminación, así como las autoridades estatales responsables del control de los vertimientos dañinos, debido a la descarga a la naturaleza de los análisis azucareros, enviaron a los

productores que excedían los 5 ppm de plomo en sus vertimientos a declarar las causas y las medidas a tomar para su eliminación.

La compañía norteamericana Amistar Sugar Corporation (ASC) prácticamente desde abril de 1990, empleando la polarimetría en el infrarrojo cercano y clarificación con sales de aluminio, ha eliminado completamente el uso del subacetato de plomo en el proceso de control en la fabricación de azúcar [2]. Estos métodos fueron ampliamente adoptados por la industria azucarera norteamericana.

En Alemania, Australia y Sudáfrica se han realizado pruebas en laboratorios especializados con estas técnicas y la polarimetría infrarroja y clarificación con sales de Al ha sido la más aceptada en el Instituto de Azúcar de Braunschweig (Alemania) y en Instituto de Investigaciones de Durban (Sudáfrica) [3]. Como resultados de estos estudios de validación la COMISION INTERNACIONAL PARA EL ANALISIS DE LOS METODOS UNIFICADOS DEL AZUCAR (ICUMSA) recomienda la aceptación de esos métodos para el proceso de control industrial de la calidad del azúcar [4], reservándose el derecho para la comercialización.

A pesar de las restricciones en la esfera comercial, se utilizan en la actualidad polarímetros infrarrojos, que permiten la realización de los análisis sin la utilización del plomo en proceso de producción. La firma Alemana Schmidt+Haensch produce el polarímetro en el infrarrojo cercano Polartronic Universal,

E-mail: [justo@ceaden.edu.cu](mailto:justo@ceaden.edu.cu).

(patente europea 0022054), la Optical Activity el modelo Saccar 880, (también patente europea), la Rudolph Research Corporation el modelo DSP, la Alemania Elektronik Automation (Dr. W. Kerchen) el Sucromat Dual (579.3 nm y 880 nm). El precio de estos instrumentos oscila desde 20 a 35 miles de USD. El primero (Polactronic) utiliza la longitud de onda de 882.6 nm y el segundo (Optical Activity) de 880 nm.

El polarímetro automático construido, LASERPOL NIR, puede ser empleado en la industria azucarera, farmacéutica, alimentaria, de perfumería o en cualquier laboratorio donde se midan concentraciones de sustancias ópticamente activas no transparentes a la luz visible, pero si transparentes a la longitud de onda de 783 nm. Su destino principal es la industria azucarera donde se utiliza para la evaluación de materia prima, en el control del proceso de producción así como en el control de calidad de los productos finales, participa en los centrales en la medición de no menos de 18 productos intermedios y finales. Entre las mediciones de materia prima se encuentran las correspondiente a semilla y jugos, las del proceso incluyen mediciones de jugos, mieles intermedias y agua de zanja y las relacionadas al control de calidad corresponden a los azúcares y mieles finales.

#### DESCRIPCION DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL INSTRUMENTO

El LASERPOL NIR está proyectado sobre la base de un principio magneto-óptico de medición concebido por los autores. Los objetivos del principio de medición son los siguientes: lograr un intervalo mayor de medición mediante el aumento del ángulo girado por la bobina compensadora, utilizar las placas de cuarzo convencionales, así como disponer de 3 escalas de medición y varias funciones de corrección.

Se seleccionó el láser semiconductor de 783 nm debido a su amplia utilización en diferentes rams de la técnica, su fácil adquisición y bajo costo.

El polarímetro está constituido por un láser semiconductor de 0.8 mW con una longitud de onda de 783 nm como fuente de luz, un prisma polarizador, una celda de Faraday compensadora con un núcleo de vidrio flint pesado, una cámara de muestras, una celda de Faraday trabajando como modulador, un prisma analizador, un fotosensor constituido por un fototransistor, un amplificador de ganancia controlada, un sistema de filtros, un detector de fase para determinar el instante en que se produce la compensación, un circuito de muestreo y retención que sensa la caída de voltaje en una resistencia especial estable a la temperatura y un conversor análogo-digital de 14 bits.

El sistema dispone además, de una micro-computadora a partir del microprocesador Z80, un teclado para el control y entrada de datos al sistema, un oscilador con amplificador de potencia que alimenta la celda moduladora y como salidas una pantalla visualizada de 4½ dígitos.

El instrumento funciona de la manera siguiente: los prismas polarizadores se encuentran girados uno con respecto al otro 90°. Al colocar una sustancia ópticamente activa en la cámara de muestras, aparece una señal que contiene la frecuencia fundamental, (que es la que corresponde al oscilador) y un armónico del doble de la frecuencia fundamental a la salida del fotosensor; el filtro sólo deja pasar la señal con la frecuencia fundamental, la cual tiene una amplitud de cero cuando se compensa el desbalance provocado por la muestra que se mide y tiene una amplitud diferente de 0 mientras exista descompensación.

Al dar inicio a una medición en el equipo, la fuente de corriente genera pulsos de corriente debido a los cuales se produce la compensación. La compensación es detectada por el circuito que comanda al sistema de muestreo y retención, el cual sensa la caída de voltaje en la resistencia especial y la transfiere al conversor análogo digital. El valor de la polarización medida es proporcional a la corriente sensada en la bobina compensadora.

#### Las características técnicas del polarímetro son:

• Fuente de luz	láser semiconductor
• Longitud de onda	783 nm
• Potencia del láser	0.8 mW
• Escala en ° angulares	± 1.1°, ± 0.005°
• Mínimo de transmisión de la sustancia (a 783 nm)	10 %
• Tiempo de medición	16 s
• Temperatura de operación	15 - 30 °C
• Alimentación	220 V ± 10 %
• Consumo de potencia	110 W
• Tubo polarimétrico Long.	máx. 100 mm
• Peso	20 Kg
• Dimensiones	560x320x178 mm

#### VALORACION CUALITATIVA

Antes de ajustar los valores se hicieron mediciones con 3 placas de cuarzo, (50 mediciones continuas y 36 alternas cada una), la 2951+2952, II-7-1989, II-8-1989, con 0.623°, 0.459°, -0.461° respectivamente y se obtuvieron las siguientes  $\sigma$ : 0.002°, 0.002° y 0.003°. Se ajustó el valor para la placa 2951+2952 de 0.623° y se obtuvo el valor medio en 20 mediciones de 0.625° ± 0.005°. Se estudió la respuesta a la absorción con filtros de color calibrados para la longitud de onda de 783 nm y se alcanzó que hasta el 96 % de absorción la

medición es confiable. Se hicieron mediciones en el LASERPOL NIR y simultáneamente en el Sucromat Dual (que tiene dos longitudes de onda, 589.3 y 880 nm) en los laboratorios del Dpto. de Inv. Analíticas de la Subdirección Química del ICINAZ, para el estudio de la precisión y de la linealidad, con 30 soluciones de azúcar, (10 mediciones cada una hasta la centésima), en un intervalo desde 0.15 g hasta 3 g de sacarosa en 100 mL de solución. Se obtuvo una repetibilidad buena; de las 30 soluciones 14 con  $\sigma = 0.00^\circ$ , 3 con  $\sigma = 0.003^\circ$ , 3 con  $\sigma = 0.004^\circ$  y 10 con  $\sigma = 0.005^\circ$ , dando  $\sigma$  promedio igual a  $0.002^\circ$ ; antes de medir cada solución se midió con agua destilada y en todas las mediciones se obtuvo  $0.00^\circ$ ; la regresión lineal, para 27 soluciones, fue la siguiente:  $R = 0.99965$ , el intercepto  $A = -0.01627$ , la pendiente  $B = 0.36994$  y la desviación de los datos, respecto a la mejor recta, fue  $0.00878$ , (ver el gráfico). Se tomaron 46 muestras para calcular las constantes de ingeniería y se ajustaron los valores en grados sexagesimales con estas constantes y

con la fórmula de Bunnagel, para el infrarrojo cercano, se calcularon los grados Z. Se compararon los valores obtenidos con las mediciones realizadas simultáneamente en el Sucromat a la longitud de onda de 880 nm; se obtuvo, como mayor diferencia  $0.1^\circ Z$  y el promedio de las diferencias  $0.0002^\circ Z$ . Se determinó el intervalo de medición y se obtuvo  $\pm 1.1^\circ$  que es equivalente a  $\pm 6^\circ Z$ . Estas mediciones están referidas a una cubeta de 100 mm.

Se realizaron 30 mediciones dobles, (dos muestras en cada medición), de jugos de caña de azúcar, con una dilución de 13 g en 100 mL y se compararon las mediciones clarificando y sin clarificar. El resultado de las diferencias de las mediciones de [sin clarificar]-[clarificar] fue el siguiente: LASERPOL NIR : como promedio  $0.001^\circ$ ,  $\sigma = 0.005^\circ$ ; Sucromat Dual: promedio  $0.001^\circ$ ,  $\sigma = 0.003^\circ$  [5]. En la Tabla I se presentan 23 mediciones de las 30 realizadas. Las mediciones de las columnas (3), (4), (5), (6), (3-4), (5-6) son en grados sexagesimales.

Tabla I. Resultados de los análisis de jugos de caña.

No.	Fecha Análisis	SUCROMAT <sup>2</sup>		LASERPOL		Diferencias (S/C-C)	
		S/Clarif.	Clarif.	S/Clarif.	Clarif.	SUCRO (3-4)	LASER (5-6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(3-4)	(5-6)
1	23/12	0.191	0.191	0.251	0.250	0	0.001
2	23/12	0.177	0.179	0.237	0.236	-0.002	0.001
3	23/12	0.180	0.184	0.244	0.245	-0.004	-0.001
4	23/12	0.248	0.253	0.326	0.331	-0.005	-0.005
5	24/12	0.233	0.236	0.295	0.294	-0.003	-0.001
6	27/12	0.312	0.312	0.388	0.388	0	0
7	7/1	0.265	0.263	0.348	0.339	0.002	0.009
8	7/1	0.290	0.292	0.370	0.380	-0.002	-0.01
9	7/1	0.254	0.252	0.338	0.336	0.002	0.002
10	7/1	0.267	0.268	0.345	0.343	-0.001	0.002
11	7/1	0.277	0.280	0.350	0.353	-0.003	-0.003
12	7/1	0.274	0.271	0.346	0.350	0.003	-0.004
13	7/1	0.231	0.234	0.298	0.300	-0.003	-0.002
14	7/1	0.274	0.277	0.360	0.360	-0.003	0
15	10/1	0.200	0.191	0.253	0.249	0.009	0.004
16	10/1	0.280	0.273	0.365	0.358	0.007	0.007
17	10/1	0.324	0.320	0.425	0.423	0.004	0.002
18	10/1	0.338	0.333	0.440	0.434	0.005	0.006
19	10/1	0.330	0.327	0.421	0.422	0.003	-0.001
20	10/1	0.261	0.260	0.349	0.350	0.001	-0.001
21	10/1	0.262	0.263	0.343	0.340	-0.001	0.003
22	13/1	0.297	0.296	0.381	0.385	0.001	-0.004
23	13/1	0.292	0.287	0.380	0.377	0.005	0.003
24	13/1	0.345	0.344	0.448	0.446	0.001	0.002
25	13/1	0.330	0.330	0.432	0.430	0	0.002
26	13/1	0.262	0.260	0.338	0.335	0.002	0.003
27	13/1	0.320	0.318	0.415	0.414	0.002	0.001
28	13/1	0.305	0.303	0.407	0.390	0.002	0.017
29	13/1	0.300	0.298	0.375	0.379	0.002	-0.004
30	13/1	0.281	0.280	0.375	0.371	0.001	0.004
Media de las diferencias						0.001	0.001
Desviación standard de las diferencias						0.003	0.005

## CONCLUSIONES

Como puede verse de las mediciones realizadas el comportamiento del polarímetro desarrollado por los autores, LASERPOL NIR, es similar al de un polarímetro de prestigio internacional como el utilizado para comparar los resultados, aunque las características técnicas del Sucromat Dual superan a las del LASERPOL NIR en el intervalo de giro y en el tiempo de medición, en cuanto a las demás son similares. Es necesario destacar que para la longitud de onda utilizada no se ha tenido conocimiento de que haya sido usada en otros polarímetros, o sea este es un aspecto novedoso, además de representar una ventaja económica pues los láseres de esta longitud de onda se producen de forma masiva y esto abarata el costo.

Los autores estiman que con un láser de más intensidad, (aprox. 5 mW a la salida de la fuente de luz), se pueden lograr mejores resultados en precisión y repetibilidad.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a los especialistas del Dpto. de Inv. Analíticas de la Subdirección Química del INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES AZUCARERAS (ICINAZ) Lic. Julián Rodríguez López, Lic. Fernando Fernández Álvarez, Lic. Francisco H. Pérez Sanfiel, Téc. Analista Yadiria Borges Gómez y al Téc. Analista Ernesto Maseda Maestre por su asesoría en la ejecución de este trabajo, en la técnica de preparación de las soluciones, en las mediciones y en el estudio que realizaron sobre el comportamiento del polarímetro.

## REFERENCIAS

1. Datos aportados por la sección de compra del Ministerio de la Industria Azucarera y consultados con autoridades del ICINAZ.
2. ALTENBURG, W. and C.C. CHOU: **An alternative method of raw sugar polarization**, Zucker Ind. 116.
3. DUNSMORE, A. (1993): **The quest to eliminate the use of lead in the laboratory**, Part 2. Proceedings of the South African Technologists Association. June.
4. ICUMSA Proceeding of 1994 in Havana. Subjet: Raw sugar.
5. Informe del Dpto. de Inv. Analíticas de la Subdirección Química del ICINAZ al CEDEIC.
6. Presentación del Informe Final del Proyecto Desarrollo de un polarímetro fotoeléctrico infrarrojo para disminuir la utilización del subacetato de plomo en los análisis de control de calidad en la Industria Azucarera, del Programa Nacional de la Agroindustria Azucarera, código 00103026.

# CINCUENTA AÑOS DE FISICA EN LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE (Santiago de Cuba)

Luis Méndez Pérez<sup>1</sup>, Departamento de Física, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba  
 Angelo Baracca<sup>2,3</sup>, Dipartimento di Fisica, Università di Firenze, Italia  
 Facultad de Física, Universidad de La Habana

## RESUMEN

La Universidad de Oriente en la ciudad de Santiago de Cuba (1000 Km de La Habana) también contribuyó al desarrollo de la física en Cuba en las últimas cinco décadas. En el año 1970 fue creada en esta Universidad la Escuela de Física. En este trabajo se reconstruyen la actividad académica y la investigación científica en esta institución.

## ABSTRACT

The Eastern University site in the city of Santiago de Cuba (1000 Km of Havana) also has contributed to the development of physics in Cuba in the last five decades. In the year 1970 in this University was created the "Escuela de Física". In this paper a historical sketch of the academic activity and scientific research of this institution is outlined.

## INTRODUCCION

En un artículo anterior (1) se expone el despegue de la Física en Cuba desde 1959 hasta la década de los años setenta, centrándose principalmente la discusión en el desarrollo de esta ciencia en la Escuela de Física de la Universidad de La Habana (UH), que representó en este período la institución más cualificada del país, no obstante en otros centros también se comenzó a desarrollar la física. Entre ellos en la Universidad de Oriente (UO), donde se fundó la Escuela de Física en 1970, pero que contó con su Cátedra de Física desde la fundación de la propia Universidad, en el año 1947.

Continuando con el proyecto de reconstruir la historia de la física en Cuba en los últimos cuarenta años. En este artículo se concentrará la atención al desarrollo de la enseñanza y las investigaciones en física llevado a cabo en la Universidad de Oriente, con sede en la segunda ciudad de importancia económica, social y cultural en el país, la ciudad de Santiago de Cuba situada a 1000 Km al este de la Capital de la República, y bañada por las cálidas aguas del mar Caribe.

## LOS PASOS INICIALES

### a) Período de 1947 a 1961

La Universidad de Oriente es inaugurada el 10 de octubre de 1947, siendo este hecho, señalado por la prensa (2), como: "...acontecimiento trascendental

en la historia de la docencia cubana... comenzando a funcionar bajo los mejores auspicios...". La fundación de la Universidad se logra después de incontables gestiones durante dos décadas por diferentes organizaciones sociales independientes, constituidas por profesionales, comerciantes e industriales con perspectivas futurista de desarrollo; entre estas, estaban la Sociedad de Estudios Superiores de Oriente y el Consejo Directivo de la Universidad de Oriente. Entre los miembros de este último Consejo estaba el Dr. en Ciencias Físico-Matemáticas Roberto Soto del Rey.

Al abrir sus puertas la Universidad, lo hizo con su Facultad de Ingeniería ofreciendo la carrera de Ingeniería Química Industrial, que entre las disciplinas a cursar en su curriculum del primer curso estaba la Física Superior a cargo precisamente del Dr. R. Soto del Rey (3), quien ocupaba la primera Cátedra de Física en la recién inaugurada Universidad. La que al fundarse tomó lo mejor de la pedagogía cubana, como expresó en cierta ocasión el distinguido Profesor de origen español Dr. Francisco Prat en entrevista al Periódico Sierra Maestra (4) "La Universidad de Oriente nació con el propósito de renovar la enseñanza en Cuba..."

El Dr. Soto del Rey (1913-1995), graduado de Dr. en Ciencias Físicas, Químicas y Matemáticas en la UH en 1939, fue nombrado en ese mismo año Profesor de Física del Instituto de Segunda Enseñanza de Santiago de Cuba (5). El fue un fiel seguidor de las concepciones de José Agustín

Email: <sup>1</sup>lmendezp@csd.uo.edu.cu

<sup>2</sup>baracca@fi.infn.it

<sup>3</sup>baracca@ff.oc.uh.cu

Caballero, donde este precisamente abogaba (6) "...por la enseñanza en Cuba de la Física copernicana y la del inglés Newton; deseaba la Física Experimental y Aplicada para que los jóvenes apoyados en ella ayudasen al fomento nacional...", y también las de su discípulo, el sacerdote y filósofo Felix Várela (7) con "...su concepción de que a partir de la experiencia y la razón se puede llegar al conocimiento, lo llevó a inaugurar la enseñanza mediante experimentos de laboratorio de Física y Química...". También el Dr. Soto del Rey siempre fue un devoto del racionalismo cartesiano y del experimentalismo galileano, desempeñando una meritoria labor al crear nuevas prácticas de laboratorio.

En la propia década de los años cincuenta, Soto del Rey fue precursor en la UO de la importancia del contacto internacional, iendo directamente a beber de la sabiduría de las escuelas francesa e italiana: así en 1955 estuvo en las Sorbonas de París y en Milán, entre otros lugares, y adquirió conocimientos de Teoría de la Relatividad, Teoría Cuántica, Física Estadística y Cálculo Tensorial.

En esta etapa, siguiendo además el legado del excelente maestro de Física Dr. Manuel F. Gran, el Dr. Soto del Rey inicia el montaje de los laboratorios docentes de Física, Planta Piloto, y el Taller de Maquinado, destinados a brindar una sólida formación práctica a los estudiantes, lo que es confirmado por el Dr. Prat(2) "...tratar de hacer de la UO un centro tecnológico de Ciencias Aplicadas, pues desde el primer momento aquí se puso énfasis en la Ingeniería Química, con la construcción de los primeros laboratorios en cuanto se contó con presupuesto...".

Ya en 1956 existía en la UO la Facultad de Ciencias Naturales, la que ofrecía las carreras de Física-Matemática y Química-Física, aunque con una matrícula muy reducida.

Esta es una etapa de definiciones y de establecimiento de una corriente pedagógica propia en cuanto a la enseñanza de la física para estudiantes de pregrado de Ingeniería y Ciencias, para estas últimas también con un perfil de aplicación, surgiendo la idea de ofrecer una carrera de Física Industrial, tema hoy en día en boga en la arena internacional(8). El Dr. Soto del Rey fue un abanderado precursor de estas ideas, consciente del provecho que se obtendría al fomentar las investigaciones científicas, muy pobres en esa época. Lamentablemente, todo esto sólo fueron en aquel momento ideas muy loables.

## **b) Período de 1961 a 1967**

Una entidad académica alcanza personalidad propia en tanto es capaz de no depender exclusivamente del conocimiento y sus portadores

(programas, textos, equipos, etc.) externos, sino que puede también generarlos y con ello contribuir modestamente a preservar y generar cultura: ya el Departamento de Física de la UO en los primeros años de la década de los años sesenta alcanza este estadio y así en septiembre de 1961 ve la luz la obra *Tensión superficial y soluciones líquidas* de los Drs. Roberto Soto del Rey y Luis Aguilar Salcedo (quien se había incorporado como Profesor de Física de la Universidad en el año 1960) y en cuyo prólogo (9) se lee: "...con este trabajo, el Departamento de Física inicia la publicación del curso de Física que se imparte a los que estudian Ingeniería en la Universidad de Oriente...". Es ésta, una aspiración de la década anterior hecha realidad; en los años siguientes se publican otros tomos *Estática*, *Cinemática*, *Hidrodinámica* y *Vibraciones y Ondas* en 1966.

Estas obras dan personalidad propia al Departamento, no sólo por haberlas publicado, sino más bien por el estilo propio que las caracterizan: a partir de cortos epígrafes, aislados al parecer unos de otros, al conformarse los de mayor jerarquía hasta llegar a los Capítulos; se va construyendo poco a poco el conocimiento y la teoría más general. En ellos existe la cantidad de palabras necesarias, si falta una, la idea queda inconclusa, si hay una más, ésta resulta superflua; esto es característico del Dr. Roberto Soto del Rey, la conjugación del racionalismo y la síntesis. La experiencia y la razón, están también presentes en estas obras, para llegar al conocimiento se describen múltiples experiencias y por generalización se llega a conclusiones teóricas; no estando ausente la rigurosidad matemática, ni olvidadas las aplicaciones prácticas de instrumentos o métodos de esos principios teóricos.

Partiendo del fundamental papel de la Historia de la Ciencia en su enseñanza y preservar y transmitir el legado de aquellos que contribuyeron al desarrollo de la física, en el antiguo local del Departamento, a lo largo del pasillo que conducía a los laboratorios se instauró una modesta pero verdadera galería de Físicos. Orgullo indiscutible del Departamento, admirada por todo aquel, que tenía la oportunidad de deleitarse con ella, a la vez de adquirir conocimientos.

La comprensión del valor de las investigaciones científicas en las instituciones académicas superiores, como elemento fundamental en la generación del conocimiento, y la necesidad del intercambio internacional en esta etapa ya estaban presentes en la UO. Así en Mayo de 1962 el Decano de la Facultad de Ciencias, Dr. Fernández Bertrán, realizó una visita a universidades e instalaciones de investigación en Alemania e Italia, firmando un convenio (10) de colaboración con la Universidad Técnica de Dresden. En junio presentó un Informe detallado (11) de la posible colaboración con diversas instituciones y

físicos italianos en los campos de la Física Nuclear y la del Estado Sólido; dicho informe concluye "...esperando este informe contribuya al inicio de la planificación de la investigaciones de la Física en Cuba...". A consecuencia del viaje de Bertrán vinieron en la UO dos profesores italianos, el Ing. Mario Chirco, ingeniero eléctrico que tenía un alto nivel físico matemático de la escuela italiana y se quedó varios años, y el físico nuclear Piero Basso.

Por su parte, también el Dr. Soto del Rey viajó a Polonia, URSS, Bulgaria, etc., para iniciar relaciones en busca de asesoría científico técnica con instituciones de educación superior de estos países (5).

En 1966 se crea la Escuela Básica de Tecnología y Ciencias, a la cual se integran los Departamentos de Matemática y Física: en este último por periodos cortos se incorporan otros Profesores, el salvadoreño Dr. Ricardo Arrieta Salazar, el Dr. Suarez Soto, el Dr. Olivares.

## LA ESCUELA DE FISICA DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE

### a) Gestación de la Escuela (1967 - 1970)

En el curso académico 1967-1968 la situación de la Física en la UO era:

- una alta labor académica de pregrado,
- un número reducido de Profesores.

Cuyas consecuencias más inmediata, entre otras eran:

- los Profesores carecían de tiempo para incorporarse a proyectos de investigaciones;
- no podían ellos recibir, ni impartir enseñanza post-graduada.

Esta situación cada vez más se agudizaba—debido al aumento de la matrícula en las carreras de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias, Medicina y el Instituto Pedagógico— en tanto no existía una carrera para formar Físicos. No obstante verse esa necesidad desde la década anterior, pero la misma no fructificaba por las mismas razones expuestas.

Para resolver el problema docente (12) se pidieron dos físicos a La Habana, ellos fueron los Licenciados Homero Fuentes y Jorge González (quien había realizado estudios en Alemania); se contactó con el profesor soviético Kochanov, que se encontraba en La Habana, y por esta vía llegó a la Universidad de Oriente Valeri Smirnov, un joven especialista en Física Nuclear de la Universidad de Leningrado.

Desde 1965 en la UO (12) se habían constituido dos comisiones para analizar las vías de formar físicos y matemáticos, para resolver los problemas docentes, dirigidas por Luis Oliva y Miguel Matute respectivamente. Pero esto no prosperaba por que se pensaba que la Universidad de La Habana podía formar todos los físicos necesarios al país. En los intercambios con Kochanov se vislumbró que el objetivo no se limitaba al de resolver el problema docente, sino también, al de desarrollar la física y así surge la idea de conseguir una formación de "Ingenieros Físicos" permanente en la facultad de Tecnología, solicitándose al MINED la autorización para formar 20 ingenieros físicos en 1967.

Ante esta posibilidad gente con espíritu visionario entre todas las posibles alternativas, optó por la que aprovechaba al máximo los medios y recursos existentes:

- creación de un grupo de 20 estudiantes, seleccionados entre los mejores expedientes de los terceros y segundos cursos de las carreras de Ingeniería o Ciencias Químicas y formarlos como Físicos en un corto periodo de tiempo;
- que esos estudiantes se dedicasen simultáneamente a la impartición de las asignaturas de Física General a otras carreras, montasen o perfeccionasen los laboratorios docentes, y concentrar el trabajo de los pocos Profesores existentes y de la asesoría técnica extranjera a la formación de los estudiantes de Física.

Con estas premisas surgió en el año 1967 el "Plan Especial de Ingeniería Física" de la Escuela Básica de la Facultad de Tecnología, haciéndose público en Julio de 1968 (13): "Se graduarán primeros Ingenieros Físicos de la UO en 1971, con el fin de resolver problemas tecnológicos y análisis físicos de minerales...".

Este fue el primer paso en la gestación de la Escuela de Física de la UO, siendo los objetivos del plan (14):

"...el grupo de Física Aplicada persigue resolver en términos generales todas las necesidades docentes, de investigación o de cualquier otro tipo en el campo de la Física en la UO.

...pretende la formación de un núcleo inicial en nuestra Universidad, que trabajará en diversas ramas de la Física Aplicada. ...los graduados de este grupo de Física Aplicada recibirán el Título de Ingenieros Físicos.

...pretende la formación de un físico, con buena base experimental y teórica, así como cierta formación técnica capaz de trabajar en las investigaciones aplicadas e industriales, así como incorporar los últimos adelantos de la Física a la Tecnología."

Como se observa de la letra y el espíritu de la cita anterior, se pretendía la formación de un Físico Industrial. Esta idea se corrobora en el propio curriculum diseñado y comentado por J. González y H. Fuentes (15) cuando escriben: "se han incorporado por considerarse indispensables dos períodos de Electrotecnia, dos de Electrónica Básica y uno de Electrónica Industrial... El Plan de formación de Ingenieros Físicos marcó sin discusión una nueva etapa en el desarrollo de la Física en nuestra Universidad. Por primera vez en ésta se acomete la formación de Físicos y con ello se resuelven toda una serie de dificultades y obstáculos que parecían insalvables...". Lo mismo se reafirma por un funcionario del Ministerio de Educación en su informe(16): "Objetivo de la carrera: Preparar al estudiante como Físico que resuelva problemas en la industria..., el que investiga tiene una impresión óptima del trabajo que han realizado los compañeros J. González y H. Fuentes y otros dos compañeros Drs. en Física-Matemática [R. Soto del Rey y L. Aguilar Salcedo, nota del autor]; por su entusiasmo, que no ha ido en detrimento de la seriedad... Estimamos que se debe conceder la ayuda oportuna a esta Escuela de Ingeniería Física. Por diversas razones

...la Universidad de Santiago de Cuba tiene posibilidades de desarrollar un trabajo de investigación científica en diversas ramas, por contar con cuadros de verdadera estatura científica internacional (Dr. Fernández Bertrán) que podría orientar el camino de una investigación de postgraduados por caminos de cierto interés nacional.

...por la seriedad que se ha mostrado en la formación de la Escuela. ..."

A los veinte años de fundada la Universidad de Oriente, en 1967, se inició la gestión de la fundación de su Escuela de Física, acontecimiento también trascendental en la historia de la Universidad: periodo que concluyó en 1970 con la fundación oficial de la Escuela en el mes de marzo y con su primera graduación de 19 Ingenieros Físicos el 8 de diciembre del mismo año. En esta época se contó con la inestimable labor de muchos funcionarios y profesores de la propia Universidad, entre ellos: el Ingeniero Miguel Torres desde su posición primero de Decano de la Facultad de Tecnología y más tarde de Vicerrector Docente; los Drs. Luis Estéves Macken, José Borges Badell y Rosina Hing Cortes del Departamento de Matemáticas; los Ingenieros Miguel Matute Peña y Aristides Bereguer de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, que pertenecieron al claustro del Plan Especial de Ingeniería Física; así como también el Candidato en Ciencias Físico-Matemáticas Valery Smirnov de la Universidad Estatal de Leningrado y el Dr. Johan Monecke de la Universidad Técnica de Dresden, quien en 1969 impartió un curso de Mecánica Cuántica.

## **b) Consolidación de la Escuela (1970-1976)**

La estructuración y fundación de la Escuela de Física en Marzo de 1970 y la primera y única graduación de Ingenieros Físicos en diciembre del propio año delimitan el fin de una etapa histórica y el inicio de la siguiente, con un bien ganado derecho a empezar a desarrollar la física en la Provincia de Oriente.

Al oficializarse la Escuela de Física (17) se define un perfil de trabajo dentro de los métodos físicos de análisis, nombrándose director al Lic. Jorge González y subdirector al Lic. Homero Fuentes; y ésta se estructura con cinco Departamentos:

- Física Nuclear, Jefe Luis Pérez Tamayo.
- Óptica y Espectroscopia, Jefe Miguel Catasús Portuondo.
- Física de los Rayos X y Metales, Jefe Manuel García Ramos.
- Física General y Teórica, Jefe Luis Aguilar Salcedo.
- Física Electrónica, Jefe Carlos Cabal Mirabal.

Los tres primeros, siguiendo la Escuela Soviética, ofrecían especialización a los alumnos y debían realizar investigaciones aplicadas en sus respectivos campos; los dos últimos tenían como misión apoyar las investigaciones de los primeros y ofrecer la formación básica de los alumnos de Física.

El claustro de la Escuela aumentó considerablemente con la incorporación al mismo de los primeros 19 graduados; manteniéndose en su seno los gestores y colaboradores más cercanos de su fundación, los Lic. J. González y H. Fuentes, los Drs. R. Soto del Rey y L. Aguilar Salcedo; la incorporación de otros Licenciados en Física recién recibidos en la Universidad de La Habana y la visitas periódicas de Profesores de la Universidad de Leningrado como: V. Smirnov, A. Petrov, V. Niementz, N. Panichev, M. Braun, L. Lavzovsky, etc. Con la colaboración de estos últimos en esta etapa que se extiende hasta 1976 es que verdaderamente se inician las investigaciones científicas aplicadas, privilegiándose las experimentales, con un nivel no muy alto y en muchos casos repitiéndose aplicaciones ya publicadas, pero con la clara conciencia de su necesidad e importancia para el desarrollo ulterior de la Física en la Universidad y su entorno provincial. Para lograr esto, era vital establecer y mantener una fuerte comunicación y nexos internacionales con visitas cortas o prolongadas de los miembros del claustro a centros de otros países. De esta forma entre 1971 y 1972 (18) aproximadamente 10 de los miembros del recién formado claustro parten hacia las Universidades de Leningrado, la Técnica de Dresden y a Estocolmo, unos para intercambios de

experiencia docente o cursos cortos y otros para realizar estudios de postgrado, conducentes a la obtención del grado científico de Doctor (Candidato a Doctor en aquella época). En 1970 Matute hace una visita de seis meses a Italia (12), Luis Aguilar y Miguel Catasús en 1972 visitan la Universidad de Leningrado. Profesores franceses encabezados por Henry Pezerat imparten cursos de postgrado sobre métodos de caracterización de materiales en 1970.

Hasta 1976 en total se habían graduado 40 físicos (19); la matrícula de la Escuela en ese año era de unos 50 alumnos repartidos en todos los años (20), todos los graduados de la Escuela presentaron Tesis o Trabajos de Diploma, muchos de los cuales en Física Nuclear.

Los principales temas de investigación, hasta 1976, fueron los siguientes (20): la actividad más fuerte se desarrolló en el Departamento de Óptica y Espectroscopia, aunque la Física Nuclear también tomó auge alrededor de la mitad de la década. Las investigaciones en espectroscopia se desarrollaron en conexión con la industria del níquel, con técnicas de emisión y absorción atómica, según dos líneas de trabajo: directamente sobre el producto de la planta (M. Catasús), y sobre las lateritas (J. Ricardo). En Rayos X y Metales se estudiaron fundamentalmente transformaciones de fase.

Desde 1968 (21), a petición del Decano de la facultad de Medicina, Soto del Rey empezó a impartir Física a los estudiantes de los primeros años de Medicina, e inmediatamente se percató de que la forma y el método con que se impartía la asignatura había que adecuarlos a los intereses de los estudiantes, creando la signatura de Física para Médicos. Este curso tuvo gran aceptación y los profesores solicitaron recibir este curso como postgrado, posteriormente ya en la década de los setenta la Facultad de Biología solicitó los servicios de Soto del Rey para impartir con la misma óptica el curso a los estudiantes de Biología. Producto de este trabajo Soto del Rey publicó en la editorial "Oriente" en 1988 una obra en cuatro tomos titulada *Introducción a la Biofísica*.

Para el bienio 1976-1977 regresan del extranjero los primeros que marcharon para la realización de estudios de doctorado, con una formación más fuerte e insertada en el programa científico de cada uno de sus respectivos Departamentos, fundamentalmente en los de especialización. En este sentido la Escuela de Física de la UO fue pionera en la especialidad de Óptica y Espectroscopia en Cuba, siendo los primeros especialistas graduados de ésta; también se alcanzó un cierto desarrollo en la de Física Nuclear y en la de Rayos X y Metales, siguiendo la filosofía propia de la Escuela de ser experimental-aplicada.

## EL PERÍODO DE ESPLENDOR DEL DESARROLLO DE LA FÍSICA EN LA UO (1976 -1985)

Al crearse el Ministerio de Educación Superior en 1976 la Escuela de Física y su Departamento de Física Electrónica dejaron de existir oficialmente, en tanto los otros departamentos pasaron a formar parte de la Facultad de Ciencias Física, Química y Matemáticas, y posteriormente en 1982 a la de Ciencias Física-Matemáticas. No obstante, la inyección de mayor nivel y rigor científico-académico, que comenzó a introducirse en el año 1976 con los integrantes del Claustro con cursos de Postgraduación en el extranjero y el intercambio básicamente con la RDA y la URSS, se intensificó y para 1985 se fueron recogiendo significativos logros como:

- el claustro contaba con 8 Candidatos a Doctor, uno de ellos formado en la propia "Escuela de Física";
- de treinta y cinco profesores ya catorce tenían las Categorías de Profesores Titulares o Auxiliares.

Estos y otros éxitos, que se iban obteniendo se sintetizaron en 1983 en el Proyecto de Unidad de Ciencia y Técnica (UCT) "Laboratorio Métodos Físicos de Análisis"(22) como se transcribe a continuación:

"En los 13 años de creación de la especialidad de Física en la Universidad de Oriente se han tenido logros substanciales en la formación de cuadros científicos de alta calidad y el trabajo científico-técnico vinculado a los problemas económicos de las provincias orientales y del país. ... la actividad investigativa del personal calificado ha obtenido importantes resultados científicos que sitúan sus trabajos a la cabeza de las investigaciones en varios campos de la física aplicada en nuestro país, como son: la espectroscopia atómica y la cristalografía... podemos mencionar los siguientes:

- aplicación de las técnicas de neutrones para la determinación de humedad de suelos cubanos; aplicación de radioisótopos en el análisis de los suelos, análisis radiométrico de minerales;
- determinación de la estructura de la sacarosa crecida en el experimento Zona del vuelo cósmico conjunto soviético-cubano;
- la determinación de la composición de minerales cubanos, datos que sirvieron para la confección del mapa geológico 1:100.000 en lo referente a metales nobles;
- una producción científica de más de un centenar de artículos en revistas nacionales e internacionales, la participación en más de 80 eventos científicos, de ellos 10 de carácter internacional en la URSS, RDA, Holanda, Canadá..."

Por otra parte el colectivo de investigadores fue galardonado con los siguientes premios, entre otros:

- tercer lugar del concurso 250 aniversario de la AC de la URRS;
- primer lugar del concurso "Jóvenes Científicos" del Instituto de Física de la Universidad de Leningrado en 1980;
- dos estudiantes incorporados a los grupos científicos recibieron medallas "Forjadores del Futuro".

Se publicaron diversos materiales de información científica, textos, manuales y se prepararon otros que vieron la luz en los dos o tres años siguientes, entre estos:

- *Conferencias de Mecánica*, I Parte, P. Hourritinier;
- *Métodos de determinación de oro en Minerales*, M. Cobas, 1980;
- *Estudios de soluciones electrolíticas paramagnéticas con el método de RMN. Estudios de los procesos de solvatación*, C. Cabal, 1982;
- *Colección de problemas resueltos, I (Sobre tareas de la Física Matemática y aplicaciones a la Física)*, J. Parera, E. Roca, L. Grave de Peralta, R. López, 1984;
- *Métodos electrónicos en la física experimental*, L. Méndez, 1986;
- *Introducción a la biofísica*, R. Soto del Rey, 1988.

Todo este quehacer científico-investigativo, incipiente en la década de los años 70 e inexistente antes, se reflejaba en la labor académica de pregrado, pero también en la de postgrado (inexistente antes), con la impartición de diversos cursos, entrenamientos y aspiranturas.

Un hecho de relevante valor y que marca el reconocimiento al esplendor que se emitía desde la "Escuela de Física" de la UO por la comunidad de Físicos en el país, fue la celebración entre el 27 y el 29 de Junio de 1985, del III Simposio de la Sociedad Cubana de Física en sus predios. Evento que se desarrolló exitosamente y hasta el momento el único celebrado fuera de la capital del país.

Hasta 1985 la "Escuela de Física" de la UO había alcanzado grandes éxitos en su desarrollo lo que implicó que desde 1977, el entonces Departamento de Física Nuclear elevase el Proyecto "Introducción de las Técnicas Nucleares a la Economía Nacional", a coordinar y obtener financiamiento con el PNUD, el cual fue aprobado por la Comisión Nacional para

el uso Pacífico de la Energía Atómica en 1979 sin cambios substanciales en cuanto a sus objetivos y equipamiento solicitado, pero sí, con la inclusión de otras entidades académicas del país que laboraban en temas afines (23). En 1983 se elevó el proyecto para la creación de la Unidad de Ciencia y Técnica (UCT) "Laboratorio Métodos Físicos de Análisis" (22): éste solo se quedó como proyecto, pues no se oficializó, no obstante de forma incipiente la UCT de forma extraoficial comenzó su trabajo.

## UN PERIODO DE TRANSITO (1985-1993)

La imposibilidad de contar con los recursos financieros y de equipamiento de los dos proyectos citados; la creación del Departamento de Física para las Ciencias Técnicas, que en 1985 pasó al Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella; la eliminación de las especialidades de los planes de estudio desde 1982; el cierre de las investigaciones aplicadas de la Física Nuclear por decisión de la Secretaria de Asuntos Nucleares (SEAN) entre 1985 y 1986. Fueron factores que propiciaron al inicio, una débil emigración, pero que se fortaleció con el tiempo del personal más calificado del claustro de la "Escuela de Física". En cuestión de dos años emigraron unos 17 Profesores-Investigadores, reduciéndose el número de Doctores a 4, el de Profesores Titulares y Auxiliares a 5. Por esta emigración el claustro se comenzó a completar con personal recién graduado o de graduados con otra formación. Así para 1993 el claustro se había renovado prácticamente en su totalidad, al tenerse en cuenta la jubilación de los Drs. R. Soto del Rey y L. Aguilar Salcedo y el fallecimiento de uno de los primeros graduados el Ingeniero Físico Arturo Guzmán.

Lo anterior trajo como consecuencia que la atmósfera científico-académica y la filosofía con que había surgido la "Escuela de Física" se fue desvaneciendo, a pesar de los esfuerzos realizados, de los que se recogieron algunos frutos.

En el bienio 1986-1987, los pocos que no emigraron, en compañía de algunos recién incorporados al claustro, debieron de cambiar sus líneas de investigación, pues las iniciales de Física Nuclear, Óptica y Espectroscopia y Rayos X y Metales habían desaparecido de la faz de la Escuela.

Algunos de ellos, con la adquisición en 1987 de un Microscopio Electrónico, se incorporaron a adquirir en entrenamientos una nueva especialización relacionada con estas técnicas, básicamente en la esfera de Ciencias de los Materiales.

Otros se dedicaron a la automatización de experimentos como herramienta de trabajo y a la Física Computacional, las que se combinaron o aplicaron a los campos de la Biofísica, la Física

Médica y la Biotecnología; a estos campos se vincularon otros métodos, como los de la RMN, y se obtuvieron algunos resultados en el cuatrienio 87-90 que vislumbraban un brillante futuro, algunos de ellos son los siguientes:

En el año 1987 se creó un grupo multidisciplinario de Física Médica, que dio sus primeros pasos en el Hospital Oncológico "Conrado Benítez" de Santiago de Cuba y se lograron investigaciones conjuntas, que incluían al Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología, realizando trabajos de automatización, simulación y cálculos de pruebas radioisotópicas, construyéndose un Renógrafo Computadorizado, cuyo primer paso fue (24) "Pruebas cuantitativas en el análisis de renogramas".

Colectivo más destacado de la Universidad de Oriente "Grupo de Resonancia Magnética" (25) al: "Establecer metódica para el diagnóstico de la enfermedad Eritrocitos Falciformes (Siclemia)", "Estudios preliminares para la clasificación de linfadenopatías para el diagnóstico de quemados" y "Distribución de fármacos en tejidos biológicos".

El Grupo de Física Médica obtuvo el Premio al Mérito Científico por el resultado aplicado de mayor beneficio económico (26) con el Fotopletismógrafo UOANGIO-01, realizado en colaboración con el Hospital Provincial de Santiago de Cuba "Saturnino Lora" y el Instituto Nacional de Angiología y Cirugía Cardiovascular".

En estos nuevos campos se intentó vitalizar y fortalecer la identidad con que había surgido la "Escuela de Física", pues concordaban con ideas anteriores del Dr. R. Soto del Rey de desarrollar la Biofísica, intentándose abrir una especialidad de Postgrado (27) en Biofísica Médica, siguiéndose la estructura de las Maestrías en Ingeniería Biomédicas latinoamericanas (brasileñas y mexicanas). No obstante, todo este trabajo realizado no logró hasta ese momento encontrar mejores resultados en las investigaciones, pues la especialidad de postgrado no se aprobó, existieron cambios sucesivos de estructuras, desde finales de 1989 los grupos de investigación de RMN y de Física Médica, que por separado habían obtenido resultados destacados, formal y prácticamente se unificaron, conformando el germen de lo que más tarde, en 1993 se inauguraría como el Centro de Biofísica Médica. Si bien este centro ha desarrollado trabajos de investigación de gran valor nacional e internacionalmente, el Departamento de Física de la UO se vio debilitado por la salida del personal que en estos campos habían logrado los resultados antes mencionados. En este sentido hubo una nueva emigración, a la que se le añadieron otras hacia otros países por motivos políticos, económicos y otras razones.

## RENACIMIENTO DEL NUEVO DEPARTAMENTO

En el período de 1995 al 2000 se enmarca el cincuentenario de la fundación de la UO y su Cátedra de Física. Cátedra que ha evolucionado, alcanzando diferentes estructuraciones, funciones y ramificaciones, como los actuales Centro de Biofísica Médica, Departamento de Física Aplicada y Departamento de Física. Este último, que ofrece la Licenciatura en Física y sobre el cual versa fundamentalmente este esquicio histórico al denominarse "Escuela de Física".

En este último período se han establecido líneas de trabajo científico diferentes a las existentes al fundarse la Escuela de Física, así se tiene:

El antiguo grupo de Óptica y Espectroscopia, se transformó en uno de Fluorescencia y Aplicaciones del Láser.

Se ha creado un grupo de Física Teórica apoyado por el Departamento de Física Teórica de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, con trabajos en el campo de las nanoestructuras, presentación de trabajos en revistas y eventos internacionales, como el III International Conference on Nanostructured Materials.

Se conformó un grupo de trabajo experimental en ciencias de materiales dedicado al estudio de propiedades eléctricas y térmicas de conductores iónicos; propiedades de los materiales ferroeléctricos; propiedades magnéticas de materiales magnéticos blandos. Con publicaciones en revistas internacionales.

Se tiene un grupo de investigación en Didáctica o Enseñanza de la Física en el nivel universitario, que ha presentado varios trabajos en los Talleres Iberoamericanos celebrados en la Universidad de La Habana y en otros eventos nacionales e internacionales.

Existe también un grupo dedicado a las investigaciones en Fluido dinámica computacional.

En estos grupos, ya algunos de sus integrantes han presentado y defendido sus tesis de maestrías o doctorados o están en vías de presentarlas en breve tiempo.

Las relaciones de intercambio académico-científicas con universidades extranjeras, que en el período anterior casi se anularon completamente, de una forma u otra se están intensificando, en especial con países de Iberoamérica (España, Brasil, México, Venezuela, etc.).

En la actualidad se vuelve a encender la luz del esplendor, que iluminó a la Escuela de Física de la

Universidad de Oriente en la época de su fundación, volviendo a recorrerse el mismo camino, para que como el ave Fénix, vuelva a renacer el espíritu de los primeros tiempos.

## EPILOGO

En los primeros cincuenta años de vida de la Universidad de Oriente, la Física, que en ella surge con su fundación teniendo en ristre el legado de los ilustres maestros cubanos J. A. Caballero, Felix Várela, M. F. Gran, a través de diferentes periodos de eclipses parciales o de esplendor ha alcanzado un buen grado de desarrollo. De un inicio, en que sólo se impartía una asignatura de Física de pregrado en la carrera de Ingeniería Química, pasando por asignaturas para las diferentes carreras de Ingeniería, fuente de la cual las generaciones de Ingenieros graduados de la Universidad de Oriente han bebido y algunas generaciones de Médicos, llega a un estadio superior, adquiriendo vida propia en la Escuela de Física con sus primeros 19 graduados de Ingeniería Física en el año 1970. Y que en estos 30 años ha graduado 334 nuevos Físicos, incluidos algunos de países hermanos de América Latina y África. Celebrándose también en el año 1998 el II Coloquio de Física Dr. R. Soto del Rey In memoriam, en homenaje póstumo a quien fue fundador de la primera Cátedra de Física en la UO

y dedicó toda su vida a su desarrollo, y en el año 2000 con carácter internacional la III Conferencia de Física "Soto del Rey In memoriam"

La Física en el L aniversario y en el de la propia Universidad, y en particular en el XXX aniversario de la fundación de la Escuela de Física y de su primera graduación, tiene su historia inseparable de la historia de la Universidad, que este esquicio histórico pretende iniciar un estudio más detallado, para que ilumine el camino de las nuevas generaciones.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar tenemos que agradecer a todos los colegas que nos han ayudado en reconstruir las etapas del desarrollo de la Física en Oriente: Miguel Matute Peña, Ramón Pómes Hernández, Homero Fuentes González, Eduardo Roca Oria, Jorge Ricardo Pérez, Rafael Mut Benítez.

Uno de los autores, Angelo Baracca, quiere agradecer a la Facultad de Física de la Universidad de La Habana por la hospitalidad que le ha ofrecido y que le ha permitido llevar a cabo esta investigación; por otro lado él agradece a la Universidad de Florencia que le ha otorgado un parcial soporte financiero en los presupuestos de "ex 60 %".

## REFERENCIAS

1. BARACCA, A. (1999): "El despegue de la Física en Cuba desde 1959 hasta la década de los setenta", **Revista Española de Física**, 13 (1), 1.
2. **Diario de Cuba**, Santiago de Cuba, 12 de octubre de 1947.
3. **Acta No. 13 del Consejo Directivo de la UO**, 23 de octubre de 1947.
4. **Sierra Maestra**, Santiago de Cuba, 6 de octubre de 1982.
5. SOTO, H. (2000): "Biografía: Roberto Joaquín Soto del Rey", **Energía y Tu**, 9 (enero-marzo), 33.
6. GONZALEZ DEL VALLE, AGRAMONTE R.: "José Agustín Caballero Philosophia Electiva", **Biblio. de Autores cubanos**, Univ. de La Habana, XLIII.
7. **Periódico Granma** 26 de febrero de 1997.
8. ED. SICKAFUS (1996, june): **The Industrial Physicist**.
9. SOTO DEL REY, R. y L. AGUILAR SALCEDO (1961): "Tensión superficial y soluciones líquidas", Editora Universitaria, UO, I.
10. **Tratado sobre colaboración amistosa entre la UO de Santiago de Cuba y la Universidad Técnica de Dresden**, mayo de 1962.
11. FERNANDEZ BERTRAN, J. (1962, junio): "Informe sobre la visita a Institutos de Física Italianos", Univ. de Oriente.
12. Entrevistas a los Drs. Miguel Matute Peña y Ramón Pómez.

13. **Periódico Sierra Maestra**, 3 de Julio de 1968.
14. **Plan para la formación de físicos en la UO** (Documento sin Fecha, la más probable es fines de 1967 inicios de 1968).
15. GONZALEZ, J. y H. FUENTES (1968): **Ponencia al Encuentro de Graduados**, Universidad de Oriente.
16. **Informe sobre la evaluación de la Carrera de Ingeniería Física de la UO al Viceministro de Educación Superior del MINED** (documento sin Fecha, fecha probable inicios de 1970).
17. Documento sin fecha y sin firma.
18. "Y sin embargo..." **Ciencias**, Casa Editorial Abril, Habana, 1999: entrevista a María Margarita Cobas Arandas.
19. Registro de graduados, Secretaria General Universidad de Oriente.
20. "Estado Actual de la Ciencias Físicas en Cuba" (1976): Informe elaborado por Pérez Rojas H., Stolik Novigrod D., Fuentes Betancourt J., Rodríguez Castellanos C., D'Costa Méndez A., Alvarez Morales R., Lazo Orazábal B., García Tarajano E., González J., Ramos Vázquez M., Arias Fuentes O.; en *Las Ciencias Básicas: "Examen Preliminar de su Situación Actual en Cuba y a Nivel Mundial"*, Consejo Nacional de Ciencia y Técnica, Dirección De Ciencias Exactas y Naturales (Presidente Ing. José Altshuler).
21. Actividades docentes a desarrollar en este semestre por el Profesor R. Soto del Rey, Documento del Director del Departamento de Física del 9 de Noviembre de 1968.
22. Proyecto UCT "Laboratorio Métodos Físicos de Análisis", Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad de Oriente, Junio de 1983.
23. PNUD, Documento del Proyecto "Introducción de las Técnicas Nucleares a la Economía Nacional", CUB/77/001/C/01/18, Enero de 1979.
24. Boletín **Mambisito**, Universidad de Oriente, No. 7 (1983)3.
25. Resultados de las Investigaciones, Universidad de Oriente, 1988, 6-8.
26. Idem, 14.
27. CABAL C.; L. GRAVE DE PERALTA y L. MENDEZ (1889): "Especialidad de Postgrado en Biofísica y Física Médica: una integración de las ciencias Físicas, Matemáticas, Químicas, Biológicas y Médicas", Ponencia, **I Congreso Iberoamericano sobre Biotecnología**, Habana.

# REDUCCION DEL MINERAL BARITINA MEDIANTE ENERGIA DE MICROONDAS

O. Quesada y W. Ricardo, Departamento de Química, Universidad de Oriente  
J.C. Llópez, Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE), Universidad de La Habana

## RESUMEN

Se investiga las potencialidades de la radiación de microondas en la transformación de minerales y en particular en la reducción del mineral baritina de la región oriental de Cuba. Se emplean técnicas de caracterización de sólidos como la espectroscopia IR y la difracción de RX, a través de las cuales se muestra el desarrollo de la reacción. Se demuestra además, lo factible que resulta la implementación de esta vía de síntesis con respecto a los métodos tradicionales.

## ABSTRACT

The potentialities of the microwaves radiation in the transformation of minerals are investigated and particularly the reduction baritine mineral ore of the eastern part of Cuba. The infrared spectroscopy and X rays diffraction are used as solids characterization technical through which the development of the reaction is shown. As a result of this investigation is demonstrated that the use of this technique is more effective than traditional methods.

## INTRODUCCION

Se conocen numerosas investigaciones relacionadas con la utilización de energía de microondas en síntesis química [1,2,3]. El empleo de dicha energía, ha resultado un eficiente método para la obtención de diversos materiales, al ofrecer posibilidades de alcanzar condiciones únicas en la síntesis.

También, se introducen nuevos problemas y desafíos pues resulta complejo el procesamiento de algunos materiales, lo que puede estar motivado por: i) Los materiales con conductividades iónica y electrónica significativas, no pueden ser efectivamente procesados debido a una penetración inadecuada de la energía de microondas. ii) Otros materiales, con factor de pérdida dieléctrica bajo, son difíciles de calentar desde la temperatura ambiente debido a la mínima absorción de energía incidente. iii) Materiales con permitividad o factor de pérdida que varíe rápidamente con la temperatura son susceptibles de un calentamiento no uniforme o provocan una velocidad de calentamiento muy variable [4].

Algunos conceptos como permitividad compleja, potencia absorbida, tangente de pérdida y profundidad de penetración se utilizan con frecuencia en la literatura [4,5,6], para explicar la posible penetración de algunos materiales por las microondas, así como la capacidad de un material de convertir la energía de microondas en calor.

La literatura refiere que, para calentar un material utilizando esta energía, es necesario combinar una constante dieléctrica moderada ( $\epsilon$ ) que permita

una penetración adecuada y altos valores de factor de pérdida dieléctrica ( $\epsilon''$ ) y tangente de pérdida ( $\tan \delta$ ) [4].

El esquema más clásico para comprender como un sólido se calienta es a través de un material dieléctrico. En el mismo, los campos eléctricos internos generados en el seno de la sustancia en un volumen conocido, inducen movimientos traslacionales de cargas (electrones o iones) libres o asociados, los cuales entrañan una rotación compleja de cargas (dipolos permanentes o inducidos).

Las resistencias a esos movimientos inducidos (debido a fuerzas de inercia, elasticidad o fricción) se mantienen independientes unas de otras y producen pérdidas y atenuaciones del campo eléctrico, lo cual conduce a un calentamiento en todo el volumen de la muestra.

Las microondas son ondas coherentes y polarizadas que obedecen las leyes de la óptica y pueden ser transmitidas, absorbidas o reflejadas dependiendo de la naturaleza del material con el cual interactúan. De acuerdo con la capacidad de interacción de un material con las microondas, se clasifican tres grandes grupos: i) materiales que reflejan las microondas (opacos), ii) materiales que son atravesados por las microondas sin que medie absorción (transparentes) y los materiales que absorben la radiación (absorbentes) [4,5].

Este trabajo investiga las posibilidades de aplicar la energía de microondas en la reducción del mineral baritina de la región oriental de Cuba y se verifica el avance de la reacción, al emplear técnicas de

caracterización como la espectroscopia infrarroja y la difracción de rayos X. Además, se demuestran las superioridades del método propuesto con respecto a los métodos tradicionales.

## MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### Materiales utilizados

Mineral baritina procedente de la provincia Granma (Cuba), carbón vegetal obtenido de la pirólisis del serrín de madera y grafito.

### Equipos empleados

- Horno de microondas mono-modo LG con una frecuencia de 2450Hz y una potencia máxima de 650W, marca SHARP.
- Difractómetro de polvo con goniómetro vertical PW 1050/71, PHILIPS.
- Espectrómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier FTIR. Mattson, Génesis Series, registros entre 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ .

### Metodología experimental

Dada la poca información existente acerca del comportamiento ante las microondas de los materiales de partida, se realiza una experimentación previa en la que se define que:

- La baritina y el carbón vegetal (materiales de partida en la reducción en otros hornos) no absorben las microondas, por lo que se adicionan pequeñas proporciones de grafito, el que interviene como absorbedor de las microondas y emisor de radiación térmica desde el interior de la mezcla homogénea.
- Al utilizar grafito en diferentes formas (en polvo, en trozos y recipientes de grafito) se mostró que para la reducción de la baritina el más efectivo es en polvo.

Lo anterior sugiere realizar la experimentación según la siguiente metodología:

Se prepara una mezcla homogénea de baritina, carbón vegetal y grafito en una proporción definida y se irradia a una potencia y tiempos predeterminados en un horno de microondas [7], buscando la mayor transformación del mineral.

Por razones económicas, el grafito debe ser recuperable para su reutilización. Los sencillos métodos de flotación demostraron ser suficientes.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Resultados obtenidos al aplicar espectroscopia infrarroja

La Figura 1 muestra el espectro infrarrojo (IR) perteneciente a la mezcla inicial (mineral: carbón vegetal: grafito) que, al compararlo con el espectro IR de un patrón de sulfato de bario puro reportado en la literatura [8], se encuentra gran coincidencia entre los mismos; por lo que se deduce que el componente mayoritario en el mineral es el  $\text{BaSO}_4$ , lo que coincide con el resultado de análisis químico que reporta 84.54 % de este compuesto.

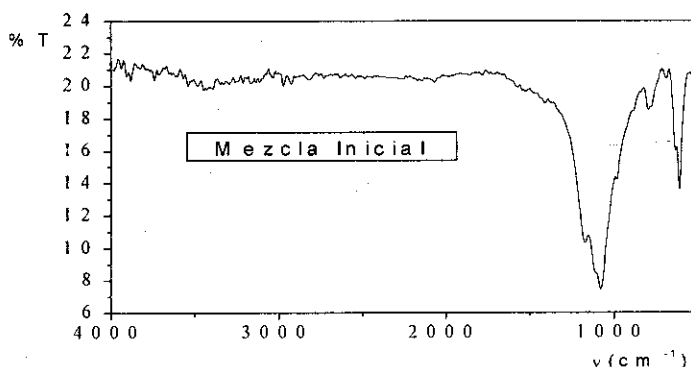


Figura 1. Espectro Infrarrojo de la mezcla inicial.

En la Tabla 1 se asignan los modos vibracionales correspondientes a las bandas encontradas en la mezcla inicial, las que son reportadas [9].

Tabla 1. Asignación de las bandas presentes en la mezcla inicial [9].

Región del espectro ( $\text{cm}^{-1}$ )	Modo de vibración	Característica de la banda
1040-1210	$\nu_3(\text{SO}_4^{2-})$	Banda intensa con submáximos
983	$\nu_1(\text{SO}_4^{2-})$	Frecuentemente 1 ó 2 bandas débiles y agudas.
611	$\nu_4(\text{SO}_4^{2-})$	Frecuentemente doble o múltiple
450	$\nu_2(\text{SO}_4^{2-})$	-
800	$\text{SiO}_2$	-

En la Figura 2 se muestra el espectro del mineral reducido cuando ha sido expuesto a las microondas 10 min en el que, de forma general, aparecen las mismas bandas encontradas en la mezcla inicial. Con experimentos adicionales, que no se reportan por la gran similitud entre los mismos, se observa la tendencia a la disminución del área de la banda más intensa; lo que indica que el mineral se va transformando.

### Resultados obtenidos al aplicar difracción de rayos X

Los perfiles de difracción de RX permiten identificar las fases presentes en el mineral y en la mezcla reducida para tiempos de irradiación de 0 y 10 min.

Las Figuras 3 y 4 muestran los diagramas de líneas obtenidos a partir de los difractogramas de la mezcla inicial y del mineral reducido cuando fue expuesto 10 min. a las microondas.

En el difractograma de la mezcla inicial se observa que los máximos más intensos del patrón experimental corresponden al sulfato de bario (tarjeta JC PDF 24-1035). Se identifican, además, algunas líneas de difracción de otras fases como dióxido de silicio (tarjeta JC PDF 46-1045) y carbonato de calcio (tarjeta JC PDF 5-586) que forman la ganga del mineral y que fueron reportadas por análisis químico y mineralógico. Por último se detectan las fases correspondientes al carbón vegetal (tarjeta JC PDF 46-943) agente reductor y al grafito (tarjeta JC DF 41-1487) medio calefactor presentes en la mezcla inicial.

En la Figura 4 se identifican las mismas fases presentes en la mezcla inicial y algunas líneas correspondientes al sulfuro de bario (tarjeta JC PDF 8-454), obtenido como producto de la transformación del  $BaSO_4$  del mineral. Se debe destacar que el mayor número de líneas obtenidas en el patrón experimental corresponde al sulfato de bario, lo que indica que la transformación del mismo aún no ha terminado o es el mejor cristalizado.

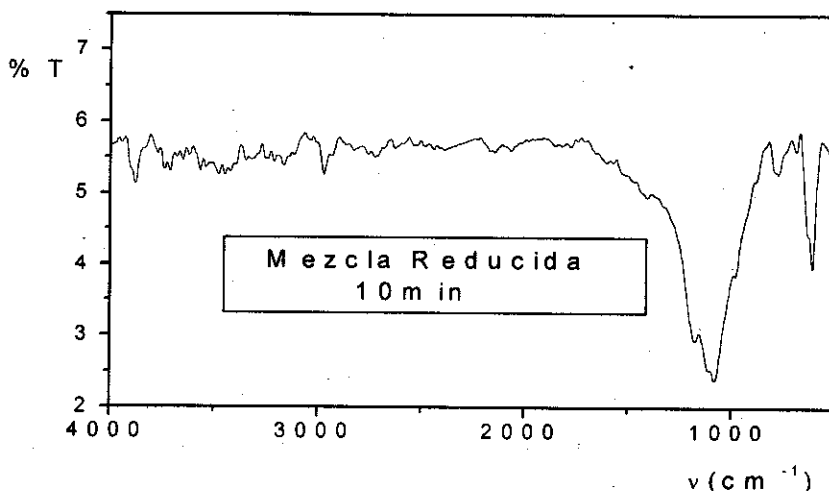


Figura 2. Espectro infrarrojo del mineral reducido hasta 10 min.

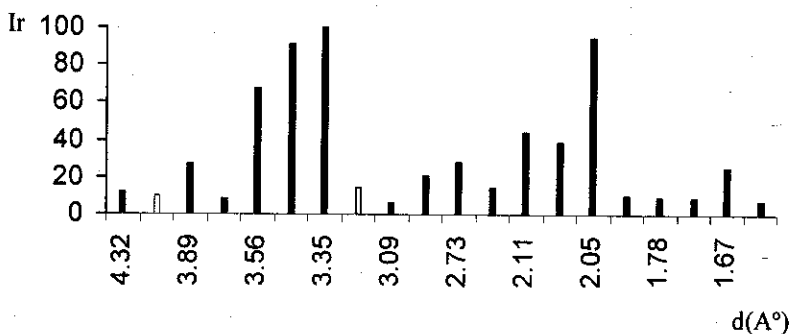


Figura 3. Diagrama de líneas para la mezcla inicial.

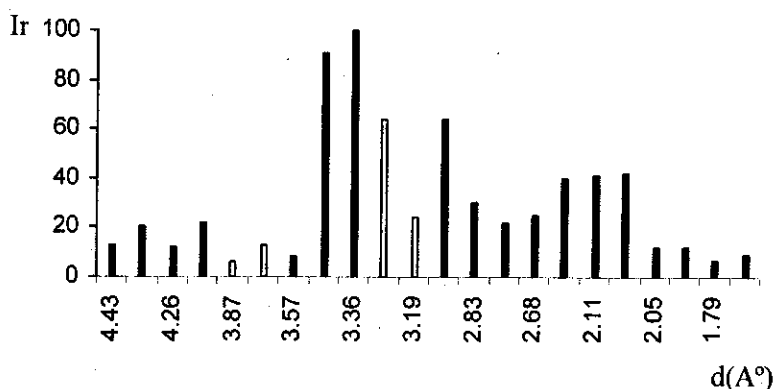
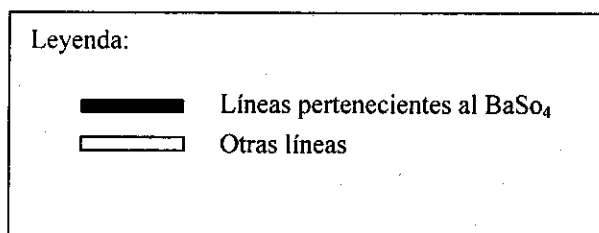


Figura 4. Diagrama de líneas para la mezcla reducida 10 min.



Las Figuras 5 y 6 muestran el espectro IR y el diagrama de líneas para esta mezcla reducida a 20 min.

El espectro IR (Figura 5) presenta una considerable disminución del área de la banda 1040-1210  $\text{cm}^{-1}$ ) correspondiente al sulfato de bario, lo que evidencia que con este tiempo de exposición la reducción del mineral ocurre en una mayor extensión.

El diagrama de líneas (Figura 6) corrobora el resultado anterior, solo se detectan las fases del sulfuro de bario (tarjeta JC PDF 8-454) y el sulfato de bario (tarjeta JC PDF 24-1035). Se debe destacar que desaparecen muchas líneas de difracción presentes para los tiempos de 0 y 10 min, lo que demuestra la mayor transformación del mineral. Además no se descarta la existencia de otras fases como carbón vegetal, grafito, etc., aunque no aparezcan sus máximos de difracción característicos, lo que se evidencia por el color oscuro de la muestra final.

Estos resultados permiten elegir las mejores condiciones experimentales para la reducción del mineral baritina utilizando energía de microondas [7].

### Rendimiento del proceso de reducción bajo la acción de las microondas. Comparación con el reportado por otros métodos

La Tabla 2 muestra los rendimientos obtenidos al emplear diferentes hornos de reducción.

El mejor rendimiento corresponde a la reducción del mineral en horno de microondas, lo que resulta lógico si se tienen en cuenta las ventajas que reporta la utilización de energía de microondas en síntesis química.

Tabla 2. Rendimientos para los diferentes hornos.

Tipos de Hornos	Tiempo de reacción	% de Rendimiento
Estático	Más de una hora	44
Cinemático	Más de una hora	70
Microondas	20 min	94

Debe destacarse que estos resultados superan el rendimiento de reducción límite del 70% referido en la literatura [10]. También se logra una reducción significativa del tiempo de reacción con el consiguiente ahorro energético, lo que justifica el empleo de esta energía. La utilización de tiempos de

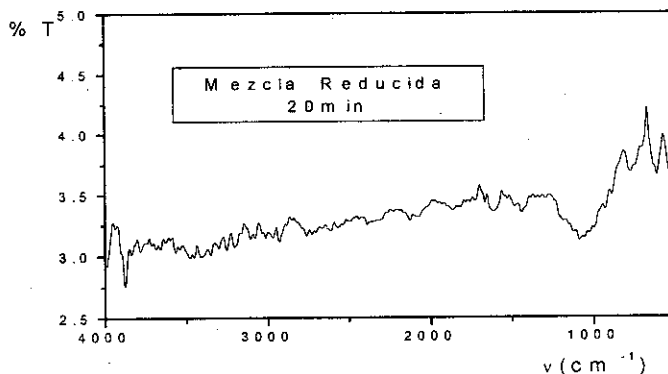


Figura 5. Espectro infrarrojo para la mezcla reducida 20 min.

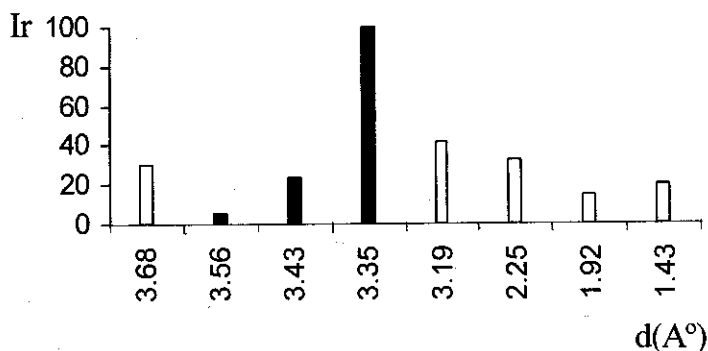


Figura 6. Diagrama de líneas para la mezcla reducida 20 min.

#### Leyenda:

- Líneas pertenecientes al  $\text{BaSO}_4$
- Otras líneas

exposición a las microondas mayores que 20 min no es aconsejable, pues se obtiene otra fase que difiere del  $\text{BaS}$  compuesto intermedio por excelencia (debido a su alta solubilidad en agua), para la diversificación de compuestos de bario de mayor valor agregado. Además, para el aprovechamiento del mineral en la diversificación de compuestos de bario basta una calidad comercial, ya que las etapas sucesivas previstas en la transformación del mismo, constituyen procesos de separación y/o purificación en los que se eliminan el sulfato de bario que no reaccionó y las otras impurezas presentes en el mineral, recuperándose por flotación el carbón vegetal y el grafito para reutilizarlos en el proceso.

### CONCLUSIONES

Se demostró la posibilidad de utilizar la energía de microondas en la reducción del mineral baritina y se determinan los parámetros experimentales para ello. Se comprobó la superioridad del método propuesto con respecto a los resultados obtenidos al emplear otros hornos como: estáticos y cinemáticos.

## REFERENCIAS

1. MIRABAL, N. Y J.C. LLOPIZ (1998): "Oxidos de vanadio obtenidos mediante energía de microondas", Tesis de Maestría, Universidad de La Habana.
2. GARCIA, J y J.C. LLOPIZ (1999): "Obtención de SINTER de óxido del níquel mediante el uso de energía de microondas", Trabajo de Diploma, Universidad de La Habana.
3. RICARDO, W.; O. QUESADA y J.C. LLOPIZ (2000): "Reducción del mineral baritina en horno de microondas", Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente.
4. DALE F.; R.H. EDGAR **et al.** (1996): "Microwave Processing of Materials", National Academic Press, Washington.
5. FINI, A. and A. BRECCIA A. (2000): "Chemistry by Microwaves", **Revista Cubana de Química**, XII(1).
6. LEILANI, A. (1999): **Reacción de  $\beta$ -aminoalcoholes o dietilentriamina con ácidos carbóxicos bajo microondas y en ausencia de disolventes**, Comunicación personal.
7. QUESADA, O. y J.C. LLOPIZ (2001): "Utilización de energía de microondas en la reducción del mineral baritina", solicitud de autor de invención realizada ante la Oficina Cubana de Propiedad Intelectual, Cuba
8. NYQUIST, R. **et al.** (1971): "Infrared spectra of inorganic compounds", Academic Press, New York.
9. AKAMOTO, K. (1986): "Infrared and Raman Spectra of inorganic and Coordination Compounds", Fourth editon, New York.
10. LLMAN, F. (1956): "Enciclopedia de Química Industrial", Editorial Labor, Tomo II.

# ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS NEUTRONES EPITERMICOS EN EL COEFICIENTE DE REFLEXION DE NEUTRONES

L.Desdín y L.García, Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear(CEADEN)

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudia la influencia de los neutrones epitérmicos en el coeficiente de reflexión de neutrones. Para ello se empleó una instalación de reflexión de neutrones de geometría abierta y la simulación por el método de Monte Carlo. Se analizaron los casos de muestras de naturaleza simple y compleja.

## ABSTRACT

In the present paper was studied the influence of epithermal neutrons in the neutron reflection coefficient. It was used an open neutron reflection setup and the simulation using the Monte Carlo method. There were analyzed simple and complex samples.

## INTRODUCCION

Entre los variados métodos empleados en la medición de agua e hidrógeno en diferentes materiales se encuentra el basado en la moderación de los neutrones rápidos emitidos por una fuente radioisotópica.

Si un detector de neutrones térmicos se sitúa en la superficie libre de una placa seminfinita, el coeficiente de reflexión de neutrones  $\eta$  en función del espesor  $x$  de dicha capa muestra una saturación en el entorno de los 8 cm [1]:

$$\eta = \frac{I - I_0}{\rho l_0} \quad (1)$$

donde  $I$  e  $I_0$  son las velocidades de conteo con y sin la placa respectivamente y  $\rho$  es la densidad de la misma. En experimentos previos se demostró que  $\eta$  depende linealmente del contenido de hidrógeno [2].

En general en una instalación de reflexión de neutrones de geometría abierta (IRNGA),  $\eta$  no sólo depende del contenido de agua(hidrógeno), sino también de otros parámetros (densidad y composición de la capa). La mayoría de los modelos de respuesta de dichas instalaciones son muy complejos y frecuentemente es necesario simularlas usando métodos numéricos y la simulación por Monte Carlo.

La simulación por Monte Carlo está emergiendo de manera rápida como un procedimiento estándar de diseño y calibración en los procesos de mediciones de radiaciones nucleares con fines de aplicación [3-4].

Muchas de las IRNGA emplean detectores de  $\text{BF}_3$  porque en adición a su alta velocidad de conteo posible, estos tienen la ventaja de ser robusto, insensible a los rayos  $\gamma$  y tiene alta eficiencia.

En el presente trabajo se estudia la influencia de los neutrones epitérmicos en el coeficiente de reflexión de neutrones  $\eta$ . Para ello se empleará una IRNGA y el método de simulación de Monte Carlo. Dicha instalación emplea un detector del tipo  $\text{BF}_3$ . Partiremos de ignorar la contribución de los neutrones epitérmicos a  $\eta$  y compararemos los resultados obtenidos sobre la base de esta premisa con los obtenidos de manera experimental o por simulación teniendo en cuenta la contribución de dichos neutrones.

Partiendo de (1) es fácil de demostrar que:

$$\eta = \eta_{th} + \eta_{epi} \quad (2)$$

donde  $\eta_{th}$  y  $\eta_{epi}$  son los coeficientes de reflexión de neutrones térmicos y epitérmicos respectivamente. Entonces el error que se introduce al ignorar la contribución de los neutrones epitérmicos es:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\eta_{epi}}{\eta} \quad (3)$$

## EXPERIMENTOS Y SIMULACION

La instalación experimental se muestra en la Figura 1. Los neutrones fueron producidos por una fuente de AmBe con una salida  $6.6 \cdot 10^6 \text{ ns}^{-1}$ . Un detector de  $\text{BF}_3$  registra los neutrones moderados y reflejados en la muestra(capa). Una lamina de cadmio cubre la superficie inferior del detector,

filtrando los neutrones térmicos y reduciendo el fondo del moderador.

Las muestras empleadas en el experimento pesaron aproximadamente 700 g, 10 cm de diámetro y 12 cm de alto. La muestra se encontraba rodeada por una lamina de cadmio(1 mm) para reducir el fondo, excepto en su parte inferior. El tiempo de medición fue de 2 minutos, lo que aseguró que el error estadístico fuera despreciable en comparación con las otras fuentes de error. Los valores típicos de  $I$  y  $I_0$  fueron de 23000-43000 y 13800, respectivamente.

Los cálculos por el método de Monte Carlo fueron efectuados usando el "Monte Carlo N-Particle Transport Code System, MCNP-4A" [5]. Los datos de las secciones eficaces usadas fueron tomados de la biblioteca ENDF/B-V[6]. El tratamiento geométrico del MCNP-4A permite hacer configuraciones tridimensionales definidas en un sistema de coordenadas cartesianas. Los volúmenes, que contienen materiales específicos, fueron construidos con el uso de operadores de Boole que combinan las celdas básicas geométricas enlazadas por superficies de primero y segundo grado. Las celdas geométricas y superficies fueron diseñadas acorde a la Figura 1 y se empleó una aproximación de fuente isotópica puntual.

Las fuentes de errores en la simulación son las siguientes: los errores estadísticos(incluyendo la precisión de la simulación (< 2 %) y el error estadístico de  $\eta$  producto de los valores simulados de  $I$  y  $I_0$ ) y las incertidumbres de los datos nucleares. Esta última fuente puede ser ignorada considerando los primeros.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para evaluar la contribución de los neutrones epitérmicos al coeficiente de reflexión fueron empleados dos conjuntos de muestras con un amplio rango de valores de dicha magnitud. El primer conjunto de muestras tiene una composición simple y sus valores de  $\Delta\eta/\eta$  fueron determinados directamente comparando los valores simulados con y sin la contribución de los neutrones epitérmicos. La evaluación del segundo conjunto de muestras(muy complejas y de composición desconocida) fue realizada de la siguiente manera: se midió  $\eta$  y posteriormente se le cubrió el fondo del portamuestra con una lamina de cadmio de 1 mm de espesor obteniéndose así  $\eta_{\text{epi}}$ .

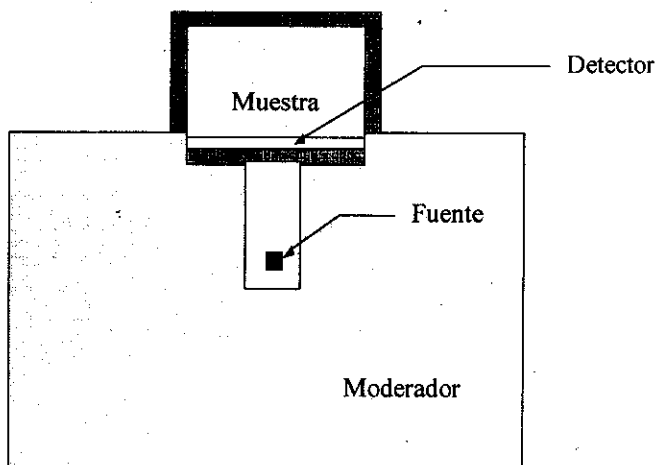


Figura 1. Instalación experimental.

La información sobre el primer conjunto de muestras (alto contenido de hidrógeno y baja absorción) está contenida en la Tabla 1. Para este conjunto la correlación entre los valores simulados de  $\eta$  con la contribución y  $\eta_S$  sin la contribución de los neutrones epitérmicos respectivamente es la siguiente:

$$\eta = (0.96 \pm 0.03)\eta_S + (0.17 \pm 0.05) \quad (4)$$

Para el segundo conjunto de muestras (con un amplio rango en el contenido de hidrógeno y alta absorción, Tabla 2) en la Figura 2 se muestra la dependencia ( $\Delta\eta/\eta$ ) vs.  $\eta$  obtenida por el procedimiento experimental descrito previamente.

Tabla 1. Características de las muestras del primer conjunto.

ESTANDARES	COMPOSICION	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	% H
AGUA	H <sub>2</sub> O	1.00	11.11
BUTANOL	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	0.819	13.60
TOLUENO	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.866	8.76
HEPTANO	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.866	16.09
ACETONA	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0.791	10.41
ESTANDAR 1	Si <sub>2</sub> O	0.813	0.00
ESTANDAR 2	4.7% H <sub>2</sub> O + 95.3% Si <sub>2</sub> O	0.844	0.05
ESTANDAR 3	9.9% H <sub>2</sub> O + 90.1% Si <sub>2</sub> O	0.893	1.11
ESTANDAR 4	15.2% H <sub>2</sub> O + 84.8% Si <sub>2</sub> O	0.915	1.70
ESTANDAR 5	21.2% H <sub>2</sub> O + 78.8% Si <sub>2</sub> O	0.941	2.38

Para las muestras del primer grupo con un alto poder de moderación y baja absorción la contribución de los neutrones epitérmicos es pequeña y los procesos de simulación pueden dar un valor cercano a  $\eta$  ignorando dichos neutrones.

Si asumimos que la relación entre el flujo térmico  $\Phi_{ter}$  y el epitérmico  $\Phi_{epi}$  en la muestra es igual a  $\xi\Sigma_S/\Sigma_a$  ( $\xi$ -decremento logarítmico medio de la energía,  $\Sigma_S$ -sección macroscópica de dispersión y  $\Sigma_a$ -sección macroscópica de absorción) y que el flujo total  $\Phi_T$  de los neutrones en la región donde la eficiencia del detector es significativa resulta  $\Phi_T \approx \Phi_{ter} + \Phi_{epi}$ , entonces a partir de los datos nucleares se obtiene en el caso más crítico ( $SiO_2$ ) un error relativo de 13 %, mientras que en un caso más favorable ( $H_2O$ ), sólo un 1.3 %. Sin embargo esta evaluación presupone que existe una distribución homogénea de la fuente de neutrones en un medio infinito, requisito que el sistema analizado no cumple rigurosamente.

Una mayor exactitud en la determinación de la relación  $\Phi_{epi} / \Phi_{ter}$  se puede obtener empleando la aproximación propuesta en [7]:

$$\frac{\Phi_{epi}(0)}{\Phi_{ter}(0)} = \frac{\Sigma_a(1+\beta^2)^{\frac{3}{2}}(1+\gamma)}{\xi\Sigma_S\beta(1+\beta)\gamma^2}$$

donde  $\beta = L_1/L_2$  es la relación de las longitudes de difusión de los grupos rápido y epitérmico y  $\gamma$  es función definida en el trabajo citado y que sólo depende de la composición química del medio.

En la Figura 2 se muestra la dependencia  $(\Delta\eta/\eta)$  vs.  $\eta$ , para las muestras del segundo conjunto la cual se describe adecuadamente como:

$$\left(\frac{\Delta\eta}{\eta}\right) = -(70.5 \pm 8.4)\eta + (33.6 \pm 2.0)$$

Tabla 2. Datos de la mediciones de las muestras del segundo conjunto.

MATERIAL	$\eta$	$\eta_{epi}$	$(\Delta\eta/\eta)$ (%)
Magnetita	$0.118 \pm 0.003$	$0.022 \pm 0.001$	$22.9 \pm 2.2$
Barita	$0.054 \pm 0.002$	$0.013 \pm 0.002$	$31.7 \pm 5.7$
Serpentina	$0.297 \pm 0.008$	$0.032 \pm 0.003$	$12.1 \pm 1.4$
Limonita	$0.227 \pm 0.005$	$0.034 \pm 0.003$	$17.6 \pm 2.1$
Bauxita	$0.213 \pm 0.005$	$0.033 \pm 0.002$	$18.3 \pm 1.6$
Zeolita	$0.320 \pm 0.009$	$0.035 \pm 0.004$	$12.3 \pm 1.9$
Caliza	$0.117 \pm 0.003$	$0.026 \pm 0.001$	$28.6 \pm 2.5$

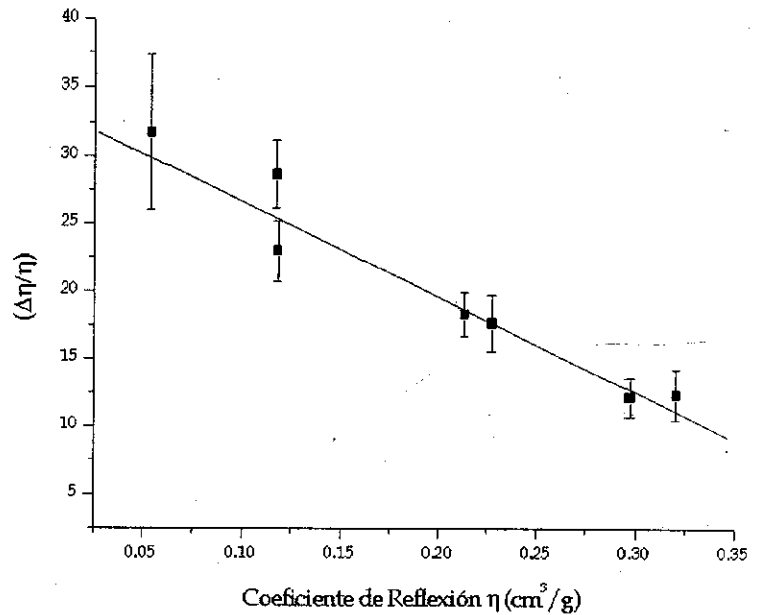


Figura 2. Contribución de los neutrones epitérmicos al coeficiente de reflexión de neutrones.

Para este grupo de muestras con elevada absorción y menor poder de moderación la contribución de los neutrones epitérmicos puede llegar a constituir 15-30% del valor de  $\eta$  y por lo tanto si no se les tiene en cuenta en los procesos de simulación el valor  $\eta$  obtenido sólo tendrá un carácter de aproximación grosera.

## REFERENCIAS

1. DESDIN, L. and R. PEREZ (1991): **Proceeding of the Symposium on Nuclear Techniques in the Exploration and Exploitation of Energy and Mineral resources**, IAEA, Vienna, 241.

- 2 BUCZKO, M.; Z. DEZSO and J. CSIKAI (1975): **J. Radioanal. Chem.** 25, 179.
3. SHYU, C.M.; R.P.GARDNER and K.VERGHESE (1993): **Nuclear Geophysics**, 7(2), 241.
4. LIU, L. and R.P.GARDNER (1997a): **Nuclear Science and Engineering**, 125, 188.
5. BREISMEISTER, J. (Editor)(1993): MCNP "General Monte Carlo Code N-Particle Transport Code Versión 4<sup>a</sup>", LA-12625.
6. KINDSEY, R. (1979): "Data format and Procedures for Evaluated Nuclear data File, ENDF", Brookhaven National Laboratory Report, BNL-NCS-50496(ENDF) 2<sup>a</sup> Ed. (ENDF/B).
7. SCIESINKA, E. (1970): **Nuklonika**, XV, 9 –10(608).

# ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS NEUTRONES EPITERMICOS EN EL COEFICIENTE DE REFLEXION DE NEUTRONES

L.Desdín y L.García, Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear(CEADEN)

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudia la influencia de los neutrones epitérmicos en el coeficiente de reflexión de neutrones. Para ello se empleó una instalación de reflexión de neutrones de geometría abierta y la simulación por el método de Monte Carlo. Se analizaron los casos de muestras de naturaleza simple y compleja.

## ABSTRACT

In the present paper was studied the influence of epithermal neutrons in the neutron reflection coefficient. It was used an open neutron reflection setup and the simulation using the Monte Carlo method. There were analyzed simple and complex samples.

## INTRODUCCION

Entre los variados métodos empleados en la medición de agua e hidrógeno en diferentes materiales se encuentra el basado en la moderación de los neutrones rápidos emitidos por una fuente radioisotópica.

Si un detector de neutrones térmicos se sitúa en la superficie libre de una placa seminfinita, el coeficiente de reflexión de neutrones  $\eta$  en función del espesor  $x$  de dicha capa muestra una saturación en el entorno de los 8 cm [1]:

$$\eta = \frac{I - I_0}{\rho I_0} \quad (1)$$

donde  $I$  e  $I_0$  son las velocidades de conteo con y sin la placa respectivamente y  $\rho$  es la densidad de la misma. En experimentos previos se demostró que  $\eta$  depende linealmente del contenido de hidrógeno [2].

En general en una instalación de reflexión de neutrones de geometría abierta (IRNGA),  $\eta$  no sólo depende del contenido de agua(hidrógeno), sino también de otros parámetros (densidad y composición de la capa). La mayoría de los modelos de respuesta de dichas instalaciones son muy complejos y frecuentemente es necesario simularlas usando métodos numéricos y la simulación por Monte Carlo.

La simulación por Monte Carlo está emergiendo de manera rápida como un procedimiento estándar de diseño y calibración en los procesos de mediciones de radiaciones nucleares con fines de aplicación [3-4].

Muchas de las IRNGA emplean detectores de  $\text{BF}_3$  porque en adición a su alta velocidad de conteo posible, estos tienen la ventaja de ser robusto, insensible a los rayos  $\gamma$  y tiene alta eficiencia.

En el presente trabajo se estudia la influencia de los neutrones epitérmicos en el coeficiente de reflexión de neutrones  $\eta$ . Para ello se empleará una IRNGA y el método de simulación de Monte Carlo. Dicha instalación emplea un detector del tipo  $\text{BF}_3$ . Partiremos de ignorar la contribución de los neutrones epitérmicos a  $\eta$  y compararemos los resultados obtenidos sobre la base de esta premisa con los obtenidos de manera experimental o por simulación teniendo en cuenta la contribución de dichos neutrones.

Partiendo de (1) es fácil de demostrar que:

$$\eta = \eta_{th} + \eta_{epi} \quad (2)$$

donde  $\eta_{th}$  y  $\eta_{epi}$  son los coeficientes de reflexión de neutrones térmicos y epitérmicos respectivamente. Entonces el error que se introduce al ignorar la contribución de los neutrones epitérmicos es:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\eta_{epi}}{\eta} \quad (3)$$

## EXPERIMENTOS Y SIMULACION

La instalación experimental se muestra en la Figura 1. Los neutrones fueron producidos por una fuente de AmBe con una salida  $6.6 \cdot 10^6 \text{ ns}^{-1}$ . Un detector de  $\text{BF}_3$  registra los neutrones moderados y reflejados en la muestra(capa). Una lamina de cadmio cubre la superficie inferior del detector,

filtrando los neutrones térmicos y reduciendo el fondo del moderador.

Las muestras empleadas en el experimento pesaron aproximadamente 700 g, 10 cm de diámetro y 12 cm de alto. La muestra se encontraba rodeada por una lamina de cadmio(1 mm) para reducir el fondo, excepto en su parte inferior. El tiempo de medición fue de 2 minutos, lo que aseguró que el error estadístico fuera despreciable en comparación con las otras fuentes de error. Los valores típicos de  $I$  y  $I_0$  fueron de 23000-43000 y 13800, respectivamente.

Los cálculos por el método de Monte Carlo fueron efectuados usando el "Monte Carlo N-Particle Transport Code System, MCNP-4A" [5]. Los datos de las secciones eficaces usadas fueron tomados de la biblioteca ENDF/B-V[6]. El tratamiento geométrico del MCNP-4A permite hacer configuraciones tridimensionales definidas en un sistema de coordenadas cartesianas. Los volúmenes, que contienen materiales específicos, fueron construidos con el uso de operadores de Boole que combinan las celdas básicas geométricas enlazadas por superficies de primero y segundo grado. Las celdas geométricas y superficies fueron diseñadas acorde a la Figura 1 y se empleó una aproximación de fuente isotópica puntual.

Las fuentes de errores en la simulación son las siguientes: los errores estadísticos(incluyendo la precisión de la simulación ( $< 2\%$ ) y el error estadístico de  $\eta$  producto de los valores simulados de  $I$  y  $I_0$ ) y las incertidumbres de los datos nucleares. Esta última fuente puede ser ignorada considerando los primeros.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para evaluar la contribución de los neutrones epitérmicos al coeficiente de reflexión fueron empleados dos conjuntos de muestras con un amplio rango de valores de dicha magnitud. El primer conjunto de muestras tiene una composición simple y sus valores de  $\Delta\eta/\eta$  fueron determinados directamente comparando los valores simulados con y sin la contribución de los neutrones epitérmicos. La evaluación del segundo conjunto de muestras(muy complejas y de composición desconocida) fue realizada de la siguiente manera: se midió  $\eta$  y posteriormente se le cubrió el fondo del portamuestra con una lamina de cadmio de 1 mm de espesor obteniéndose así  $\eta_{epi}$ .

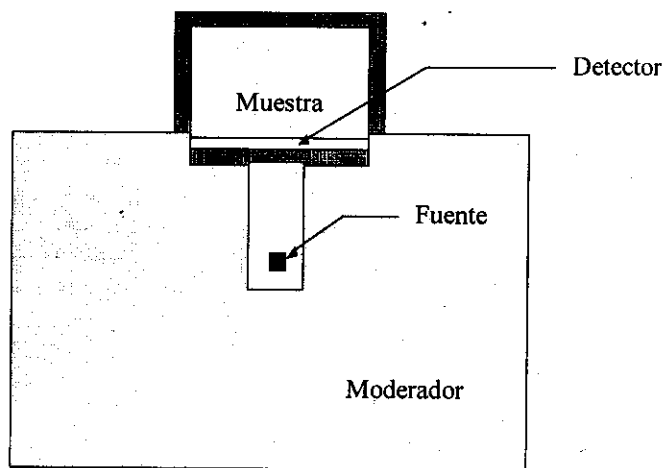


Figura 1. Instalación experimental.

La información sobre el primer conjunto de muestras (alto contenido de hidrógeno y baja absorción) está contenida en la Tabla 1. Para este conjunto la correlación entre los valores simulados de  $\eta$  con la contribución y  $\eta_S$  sin la contribución de los neutrones epitérmicos respectivamente es la siguiente:

$$\eta = (0.96 \pm 0.03)\eta_S + (0.17 \pm 0.05) \quad (4)$$

Para el segundo conjunto de muestras (con un amplio rango en el contenido de hidrógeno y alta absorción, Tabla 2) en la Figura 2 se muestra la dependencia ( $\Delta\eta/\eta$ ) vs.  $\eta$  obtenida por el procedimiento experimental descrito previamente.

Tabla 1. Características de las muestras del primer conjunto.

ESTANDARES	COMPOSICION	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	% H
AGUA	H <sub>2</sub> O	1.00	11.11
BUTANOL	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	0.819	13.60
TOLUENO	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.866	8.76
HEPTANO	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.866	16.09
ACETONA	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0.791	10.41
ESTANDAR 1	Si <sub>2</sub> O	0.813	0.00
ESTANDAR 2	4.7% H <sub>2</sub> O + 95.3% Si <sub>2</sub> O	0.844	0.05
ESTANDAR 3	9.9% H <sub>2</sub> O + 90.1% Si <sub>2</sub> O	0.893	1.11
ESTANDAR 4	15.2% H <sub>2</sub> O + 84.8% Si <sub>2</sub> O	0.915	1.70
ESTANDAR 5	21.2% H <sub>2</sub> O + 78.8% Si <sub>2</sub> O	0.941	2.38

Para las muestras del primer grupo con un alto poder de moderación y baja absorción la contribución de los neutrones epitérmicos es pequeña y los procesos de simulación pueden dar un valor cercano a  $\eta$  ignorando dichos neutrones.

Si asumimos que la relación entre el flujo térmico  $\Phi_{\text{ter}}$  y el epitérmico  $\Phi_{\text{epi}}$  en la muestra es igual a  $\xi\Sigma_S/\Sigma_a$  ( $\xi$ -decremento logarítmico medio de la energía,  $\Sigma_S$ -sección macroscópica de dispersión y  $\Sigma_a$ -sección macroscópica de absorción) y que el flujo total  $\Phi_T$  de los neutrones en la región donde la eficiencia del detector es significativa resulta  $\Phi_T \approx \Phi_{\text{ter}} + \Phi_{\text{epi}}$ , entonces a partir de los datos nucleares se obtiene en el caso más crítico ( $\text{SiO}_2$ ) un error relativo de 13 %, mientras que en un caso más favorable ( $\text{H}_2\text{O}$ ), sólo un 1.3 %. Sin embargo esta evaluación presupone que existe una distribución homogénea de la fuente de neutrones en un medio infinito, requisito que el sistema analizado no cumple rigurosamente.

Una mayor exactitud en la determinación de la relación  $\Phi_{\text{epi}} / \Phi_{\text{ter}}$  se puede obtener empleando la aproximación propuesta en [7]:

$$\frac{\Phi_{\text{epi}}(0)}{\Phi_{\text{ter}}(0)} = \frac{\Sigma_a (1 + \beta^2)^2 (1 + \gamma)}{\xi \Sigma_S \beta (1 + \beta) \gamma^2}$$

donde  $\beta = L_1/L_2$  es la relación de las longitudes de difusión de los grupos rápido y epitérmico y  $\gamma$  es función definida en el trabajo citado y que sólo depende de la composición química del medio.

En la Figura 2 se muestra la dependencia  $(\Delta\eta / \eta)$  vs.  $\eta$ , para las muestras del segundo conjunto la cual se describe adecuadamente como:

$$\left(\frac{\Delta\eta}{\eta}\right) = -(70.5 \pm 8.4)\eta + (33.6 \pm 2.0)$$

Tabla 2. Datos de la mediciones de las muestras del segundo conjunto.

MATERIAL	$\eta$	$\eta_{\text{epi}}$	$(\Delta\eta/\eta)$ (%)
Magnetita	$0.118 \pm 0.003$	$0.022 \pm 0.001$	$22.9 \pm 2.2$
Barita	$0.054 \pm 0.002$	$0.013 \pm 0.002$	$31.7 \pm 5.7$
Serpentina	$0.297 \pm 0.008$	$0.032 \pm 0.003$	$12.1 \pm 1.4$
Limonita	$0.227 \pm 0.005$	$0.034 \pm 0.003$	$17.6 \pm 2.1$
Bauxita	$0.213 \pm 0.005$	$0.033 \pm 0.002$	$18.3 \pm 1.6$
Zeolita	$0.320 \pm 0.009$	$0.035 \pm 0.004$	$12.3 \pm 1.9$
Caliza	$0.117 \pm 0.003$	$0.026 \pm 0.001$	$28.6 \pm 2.5$

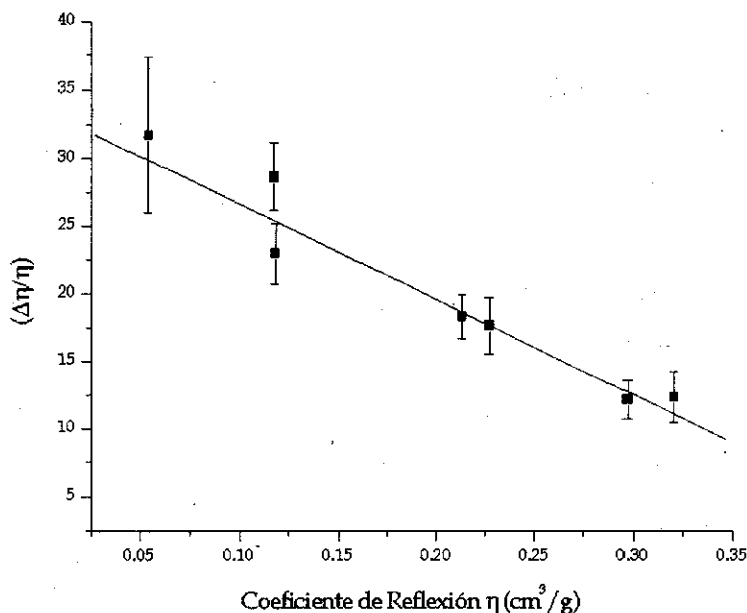


Figura 2. Contribución de los neutrones epitérmicos al coeficiente de reflexión de neutrones.

Para este grupo de muestras con elevada absorción y menor poder de moderación la contribución de los neutrones epitérmicos puede llegar a constituir 15-30% del valor de  $\eta$  y por lo tanto si no se les tiene en cuenta en los procesos de simulación el valor  $\eta$  obtenido sólo tendrá un carácter de aproximación grosera.

#### REFERENCIAS

1. DESDIN, L. and R. PEREZ (1991): **Proceeding of the Symposium on Nuclear Techniques in the Exploration and Exploitation of Energy and Mineral resources**, IAEA, Vienna, 241.

- 2 BUCZKO, M.; Z. DEZSO and J. CSIKAI (1975): **J. Radioanal. Chem.** 25, 179.
3. SHYU, C.M.; R.P.GARDNER and K.VERGHESE (1993): **Nuclear Geophysics**, 7(2), 241.
4. LIU, L. and R.P.GARDNER (1997a): **Nuclear Science and Engineering**, 125, 188.
5. BREISMEISTER, J. (Editor)(1993): MCNP "General Monte Carlo Code N-Particle Transport Code Versión 4ª", LA-12625.
6. KINDSEY, R. (1979): "Data format and Procedures for Evaluated Nuclear data File, ENDF", Brookhaven National Laboratory Report, BNL-NCS-50496(ENDF) 2ª Ed. (ENDF/B).
7. SCIESINKA, E. (1970): **Nuklonika**, XV, 9 -10(608).