



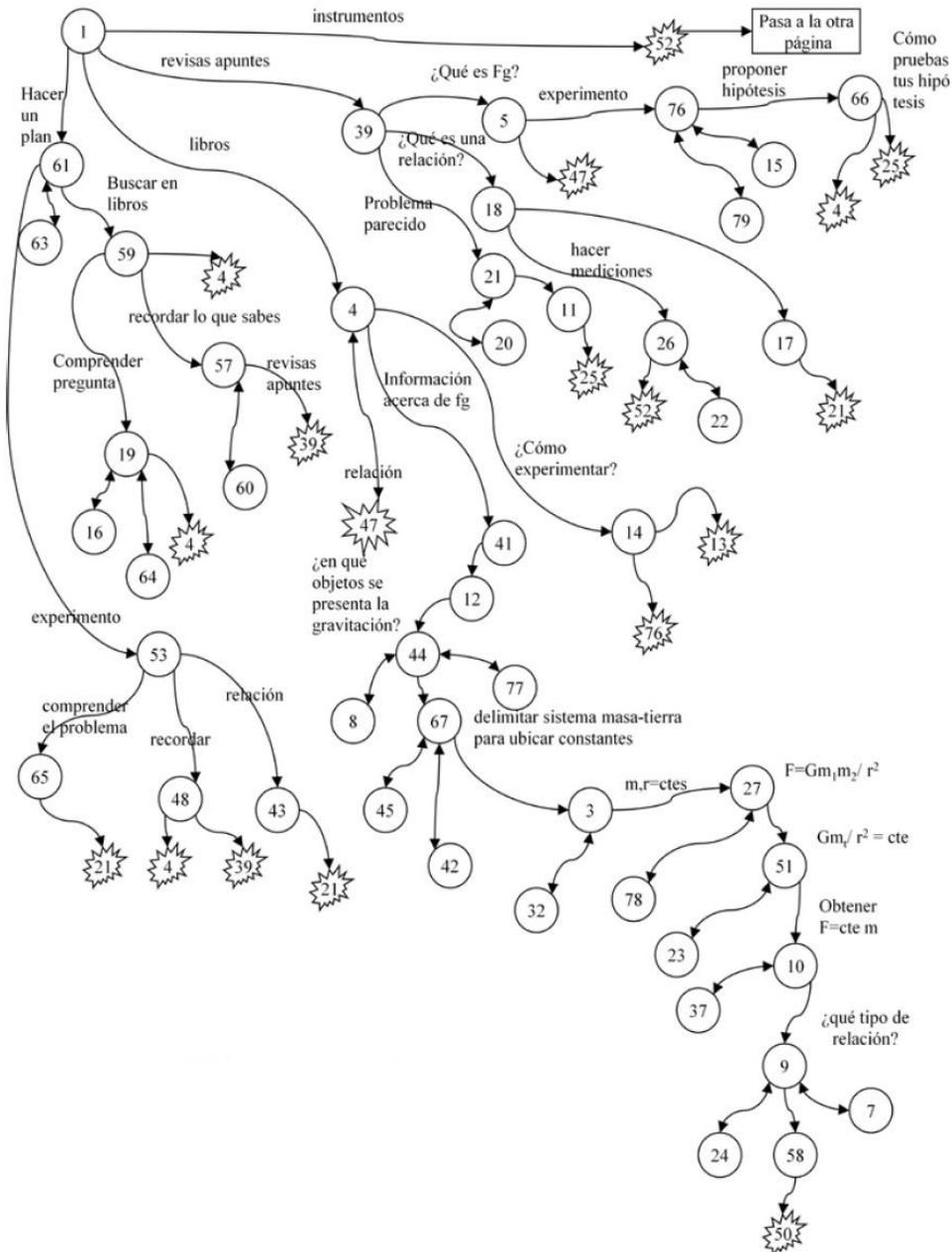
LATIN AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS EDUCATION

www.lajpe.org

Volume 10

Number 2

June 2016



A publication sponsored by the Latin American Physics Education Network and the Institute of Science Education



LATIN AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS EDUCATION

Electronic version of this journal can be downloaded free of charge from the web-resource:

<http://www.lajpe.org>

Production and technical support

Enrique Martínez Roldán
eroldan@gmail.com
Isabel Contreras Arredondo
isaconarr1@yahoo.com.mx

Latin American Journal of Physics
Education is indexed in:

DOAJ

Dialnet

latindex

EBSCO
PUBLISHING

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

EDITORIAL POLICY

Latin American Journal of Physics Education (LAJPE) is a peer-reviewed, electronic international journal for the publication of papers of instructional and cultural aspects of physics. Articles are chosen to support those involved with physics courses from introductory up to postgraduate levels.

Papers may be comprehensive reviews or reports of original investigations that make a definitive contribution to existing knowledge. The content must not have been published or accepted for publication elsewhere, and papers must not be under consideration by another journal.

This journal is published quarterly (March, June, September and December), by the Latin American Physics Education Network (LAPEN) and the Institute of Science Education. Manuscripts should be submitted to boubarkic@gmail.com or lajpe@lapen.org.mx. Further information is provided in the "Instructions to Authors" on www.lajpe.org

Direct inquiries on editorial policy and the review process to: C. Bourbaki, Editor in Chief, Instituto Pedagógico Latinoamericano y Caribeño (Cuba), calle 154 No. 12906 entre 129 y 133 Reparto Reynold García, Matanzas, Cuba CP 40100. Phone: 53 45 265794

Copyright © 2015 Latin American Physics Education Network. (www.lapen.org.mx)

ISSN 1870-9095

INTERNATIONAL ADVISORY COMMITTEE

Ann-Marie Pendrill, Göteborgs University (Sweden)
Bayram Akarsu, Erciyes University (Turkey)
Carl Wenning, Illinois State University (USA)
Diane Grayson, Andromeda Science Education (South Africa)
David Sokoloff, University of Oregon (USA)
Dean Zollman, Kansas State University (USA)
Edward Redish, University of Maryland (USA)
Freidrich Herrmann, University of Karlsruhe (Germany)
Gordon Aubrecht II, Ohio State University (USA)
Hiroshi Kawakatsu, Kagawa University (Japan)
Jorge Barojas Weber, Universidad Nacional Autónoma de México (México)
Jorge Valadares, Universidade Aberta de Lisboa, (Portugal)
Laurence Viennot, Université Paris 7 (France)
Lillian C. McDermott, University of Washington (USA)
Marisa Micheleni, University of Udine (Italy)
Marco Antonio Moreira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brazil)
Minella Alarcón, UNESCO (France)
Orhan Karamustafaoğlu, Amasya University, (Turkey)
Pratibha Jolly, University of Delhi (India)
Priscilla Laws, Dickinson College (USA)
Ton Ellermeijer, (Netherlands)
Verónica Tricio, University of Burgos (Spain)
Vivien Talisayon, University of the Philippines (Philippines)

EDITORIAL BOARD

Deise Miranda, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Brasil)
Eduardo Moltó, Instituto Superior Pedagógico José Varona (Cuba)
Eduardo Montero, Escuela Superior Politécnica del Litoral (Ecuador)
Josefina Barrera, Universidad do Estado do Amazonas (Brasil)
Julio Benegas, Universidad Nacional de San Luis (Argentina)
Leda Roldán, Universidad de Costa Rica (Costa Rica)
Celso Ladera, Universidad Simón Bolívar (Venezuela)
Manuel Reyes, Universidad Pedagógica Experimental Libertador (Venezuela)
Mauricio Pietrocola Universidad de Sao Paulo (Brasil)
Nelson Arias Ávila, Universidad Distrital, Bogotá (Colombia)
Octavio Calzadilla, Universidad de la Habana (Cuba)
Ricardo Buzzo Garrao, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)
Zulma Gangoso, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

EDITOR-IN-CHIEF

C. Bourbaki, Instituto Pedagógico Latinoamericano y Caribeño (Cuba)

ASSOCIATED EDITOR

Josip Slisko, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (México)

LATIN AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS EDUCATION

Volume 10, Number 2, June 2016

CONTENTS/CONTENIDO

Editorial

Papers/Artículos

- Designing parameters for the synthesis of devices based on the Quantum optoelectronics
Kamal Nain Chopra 2301
- Simulación de la máquina de Atwood para estudiantes de Física
Rubén Sánchez Sánchez 2302
- Learning about light properties using a system for two optical signal processing
G. Ramírez-Flores, A. Rodríguez, S. Guel, Pilar Suarez-Rodríguez Layla
M. Torres-Luna 2401
- Aplicación de los Principios Pedagógicos Pragmáticos a un curso introductorio de Física
Jorge Barojas Weber, Antonio Lara-Barragán Gómez, Guillermo Cerpa Cortés 2402
- Laberinto conceptual como instrumento de evaluación en Física
E. Jiménez, J. Barojas 2501
- O processo do conhecimento na relação física e a filosofia
Wanilce do Socorro Pimentel do Carmo, Josefina Barrera Kalhil,
Ligio A. Barrera Kalhil 2601
- Evolución histórica del concepto inercia. Primera parte
J. M. Rivera-Juárez, J. Madrigal-Melchor, E. Cabrera-Muruato 2602
- Thermal diffusivity measurement by means of the hot wire technique
J. Guarachi, U. Nogal, J. Hernández Wong, A. Calderón, E. Marín,
J. B. Rojas Trigos, A. G. Juárez Gracia, R. Abdelarrague and R. A. Muñoz Hernández 2603

continued/continuación

LATIN AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS EDUCATION
Vol. 10, Number 2, June 2016

continued/continuación

El uso del aprendizaje cooperativo para la enseñanza de los conceptos de calor y temperatura a nivel medio superior

H. J. Díaz Jiménez, M. A. Martínez Negrete, A. López Ortega

2604

El impacto de la divulgación de la ciencia en el desempeño escolar

Carmen del Pilar Suárez Rodríguez, Maricela Ojeda Gutiérrez,

J. R. Martínez Mendoza4 Cristina López Vázquez

2605

Designing parameters for the synthesis of devices based on the Quantum optoelectronics



Kamal Nain Chopra

Applied Physics Department, Maharaja Agrasen Institute of Technology, Rohini, GGSIP University, New Delhi - 110086, India.

E-mail: kchopra 2003@gmail.com

(Received 11 September 2015, accepted 30 April 2016)

Abstract

Quantum Optoelectronics has recently been the subject of much interest and research activity. The present paper gives the designing parameters for the synthesis of the devices based on the Quantum optoelectronics, resides the technical analysis of the important concepts of this field, and a short qualitative review of the recent important studies. It is hoped that this paper should be useful to the new researchers entering the field and also the designers engaged in exploring the novel important applications.

Keywords: Quantum Optoelectronics, Quantum Electrodynamics, Spontaneous parametric down conversion (SPDC), Classical electromagnetic wave, Two photon interference, Quantum Optics.

Resumen

La optoelectrónica cuántica ha sido recientemente objeto de mucho interés e investigación. El presente documento proporciona los parámetros de diseño para la síntesis de los dispositivos basados en la optoelectrónica cuántica, también aporta el análisis técnico de los conceptos importantes de este campo, y una breve revisión cualitativa de los últimos estudios importantes. Se espera que este documento sea útil para los nuevos investigadores que incursionan en este campo, y también para los diseñadores que se dedican a la exploración de nuevas aplicaciones importantes.

Palabras clave: Quantum optoelectrónicos, Electrodinámica cuántica, Paramétrica espontánea de conversión hacia abajo (SPDC), Onda electromagnética clásica, Interferencia de dos fotones, Óptica cuántica.

*Some of the technical analysis presented in this paper is on the basis of the discussions with the various researchers in the Thin Film Group of Indian Institute of Technology, Delhi during the author's association with the group, in the year 2009, as the Research Scientist in the Project on "Spintronics" sponsored by the Department of Information Technology, Government of India.

PACS: 73.20., 78.66-w, 78.55.Cr, 78.47.+p

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCTION

It is now considered that the Quantum electronics is an offshoot of quantum optics, dealing with the phenomenon involving light and its interactions with matter. On the basis of the quantum theory, light is considered both as an electromagnetic wave and as a stream of particles called photons (phenomenon called wave particle duality) traveling with the speed of light in vacuum, which are the quantum mechanical particles in the form of a wave function confined in a finite region, each particle carrying one quantum of energy equal to $h\nu$ (h is Planck's constant and ν is the frequency of the light).

The photons move in the form of a stream of particles, but their overall behavior is determined by a quantum wave function, which is a measure of the probability of the particles being present in a given location at a particular instant of time. In fact this energy of a single photon is exactly equal to a transition between discrete energy levels in an atom or other light emitting system, and interestingly, the material absorption of a photon is just the reverse process. It was the

explanation of spontaneous emission that led to the prediction of the existence of stimulated emission, the very basis of the laser. Still, the actual inventions of the maser and laser were done many years later after the development of a method for producing the population inversion.

The concepts of quantum optics are explained by the use of statistical mechanics, in which light is studied in terms of the field operators for the creation and annihilation of photons, the subject being also termed as quantum electrodynamics.

It is now well understood that coherent state is an encountered state of the light field, mainly used to approximately describe the output of a single frequency laser well above the laser threshold, and is known to exhibit Poissonian photon number statistics. A coherent state can be transformed into a squeezed coherent state by certain nonlinear interactions, which exhibits Poissonian (super- or sub-) photon statistics.

The correlations of photon statistics between different beams explain the other important quantum aspects, *e.g.*

parametric nonlinear processes can generate twin beams, which implies that ideally each photon of one beam is associated with a photon in the other beam. Quantum effects on atoms and matter are considered in different manners.

Atoms are considered as quantum mechanical oscillators having discrete energy spectrum with the transitions between the energy eigen states, which are driven by the absorption or emission of light. The oscillator strength is dependent on the quantum numbers of the states. For the area of solid state physics, the effects of quantum mechanics on the behaviour of electrons in matter are considered, and their interactions with photons are studied. Thus, the energy band models of solid state physics are very important for understanding the process of the detection of light especially in case of a solid

The solid state physics is heavily based on taking into account the quantum mechanics, and also the study of electrons; which in fact is very crucial for understanding the concepts of electronics. The effect of the spin of the electrons has also been recently considered in the topic of spintronics [1-3] – an offshoot of electronics.

The subject of Quantum optics has evolved by contributions from the topics - Electromagnetism, Quantum Mechanics, Quantum Electrodynamics, and by the contributions of great scientists like Newton, Fresnel, Maxwell, Planck and Einstein about the particle and wave nature of light, and also by some conclusive experiments like:

- (i) Young's: interferences for establishing that a light wave can be added or subtracted, and is in the form of a Sinusoidal wave;
- (ii) Fresnel's: Mathematical theory of diffraction and interferences establishing the Scalar wave nature,
- (iii) Fresnel-Arago: polarization phenomena, establishing the Transverse vectorial wave nature, and
- (iv) Faraday-Maxwell's explanation of light as an electromagnetic phenomenon.

In the beginning, there were certain problems of understanding certain phenomena like-the spectral behaviour of black body radiation *e.g.* the decrease at high frequency, and the position of the spectral lines; and the photoelectric effect *e.g.* the UV light removes charges on the surface, whereas the visible light does not do so. The different approaches explained the different things:

- (i) according to Planck, the energy exchange occurs in multiples of $h\nu$;
- (ii) the Bohr's model is based on the atomic energy levels;
- (iii) according to the Einstein's theory, Light is made of particles in the form of the unbreakable quanta of energy $E = h\nu$.

This was checked by Millikan, and later on the Compton effect suggested that a photon of wavelength λ_0 on interaction with a crystal is scattered having a wavelength λ_1 not equal to λ_0 . It is interesting to note that the electromagnetic field $E(r, t)$ in vacuum is not identically zero, and in fact varies in the form depicted below:

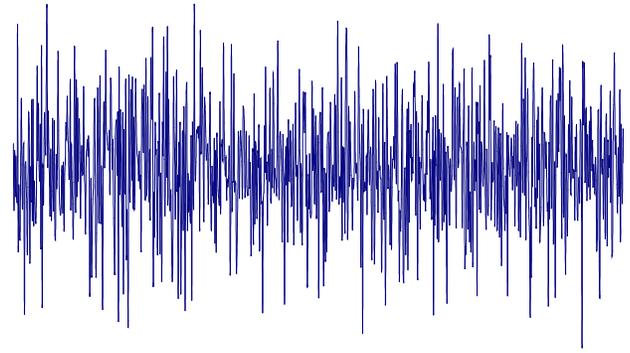


FIGURE 1. The representation of the electromagnetic field $E(r, t)$ in vacuum.

It is clear that the field is null only on average, and there is clear existence of vacuum fluctuations. Thus, the excited levels of atoms are quite unstable; which is observed through a quadratic Stark effect, and also from the displacement of the excited levels by the vacuum fluctuations, producing the Lamb shift.

Quantum Electrodynamics (QED) serves as the base and model for all modern theoretical physics like - Elementary particles. The large success of quantum electrodynamics has been in predicting the properties of matter in the presence of vacuum, and a strong agreement between theory and experiment. Also, the progress in optical techniques, led to the development of lasers, better detectors, and understanding of the non linear optics.

It is important to note that the interaction of the photons with electrons for absorption, spontaneous emission, and stimulated emission has also been considered as the basis of the understanding the laser operation, in the initial research and development of the laser systems. Presently, the quantum optics, and quantum optoelectronics are not so much based on atomic physics as on solid-state physics, especially in the studies connected with Quantum Hall effect and Quantum cellular automata. In these studies, statistics of the electromagnetic field like variance, and correlation functions form the basis of the discussion for understanding the nature of the source, whether thermal or Poissonian, and also the basic properties of astrophysical sources.

II. DESIGNING PARAMETERS FOR THE SYNTHESIS OF OPTOELECTRONIC DEVICES

The optoelectronics devices are designed on a large number of parameters, according to their application, and the spectral region of operation. The designing is so complex, that the designers also possess expertise in a particular device, besides having good knowledge about the similar devices.

Some designing aspects for some of the devices are technically discussed below:

A.1 Photoconductor quantum efficiency η_{PH}

The photoconductor quantum efficiency η_{PH} is one of the most relevant parameters for studying the performance and designing of some optoelectronic devices like photoconductors, and is easily obtained by following the treatment [4]:

$$\eta_{PH} = \frac{J_{PH}}{\left\{ q \cdot \phi_0 \cdot (1 - R) \right\}}, \quad (1)$$

where J_{PH} is the photogenerated current density, R is the surface reflection coefficient and ϕ_0 is the spectral flow of photons in the photoconductor bulk. The photogenerated current density J_{PH} for the photoconductor can be easily computed from a modification of the current density at the emitter of a photodiode (4). The spectral flow of photons in the photoconductor bulk ϕ_{PH} is computed by the following expression:

$$\phi_{PH} = (1 - e^{-\alpha d}) \cdot 10^{16} \cdot \left\{ \frac{I_0 \lambda}{19.8} \right\}, \quad (2)$$

where α is the tabled wavelength-dependent silicon absorption coefficient, d is the photoconductor thickness.

A.2 Gain of an electron-multiplying CCD (EMCCD)

An electron-multiplying CCD (EMCCD, is a charge-coupled device, having a gain register placed between the shift register and the output amplifier, so that the gain register is split up into a large number of stages, in such a manner that In each stage, the electrons are multiplied by impact ionization, as is the case with an avalanche diode. The overall gain is given by:

$$Gain(G) = (1 + P)^N, \quad (3)$$

where P is the gain probability at every stage of the register, which is quite small ($P < 2\%$), and N is the number of elements, which being very large ($N > 500$) results in a very high value of the overall gain, with single input electrons giving many thousands of output electrons. A problem encountered is that the gain that is applied in the gain register is stochastic, and therefore, the *exact* gain being applied to a pixel's charge is not exactly known. The designer has to guess this value based on his expertise and experience. Another observation is that at high gains (> 30), this uncertainty affects the signal-to-noise ratio (SNR) in the same way as halving the quantum efficiency (QE) with respect to operation with a gain of unity.

However, it has to be understood that at very low light levels, where the quantum efficiency is most important, it can be assumed that a pixel either contains an electron or does not contain it, which in fact removes the noise associated with the stochastic multiplication, though at the risk of counting multiple electrons in the same pixel as a single electron.

This problem of multiple counts in one pixel due to coincident photons in this mode of operation, can be avoided by having high frame rates. Theoretical and experimental investigations show that for multiplication registers with many elements and large gains; it is empirically modeled by the following expression:

$$P(n) = \frac{(n-m+1)^{m-1}}{(m-1)! \left(g-1+\frac{1}{m}\right)^m \exp\left(-\frac{n-m+1}{g-1+\frac{1}{m}}\right)} \text{ if } n \geq m, \quad (4)$$

Where P is the probability of getting n output electrons, corresponding to m input electrons and a total mean multiplication register gain equal to g . Hence, it is clear that the device has to be designed by optimizing the parameters P , n , m and g , which requires the skill and expertise of the designer, sometimes requiring the help from computer software.

A.3 Doped fibre amplifiers (DFAs)

Doped fibre amplifiers (DFAs) are special optical amplifiers, based on using a doped optical fibre as a gain medium for amplifying an optical signal, and in this way are related to fibre lasers.

The design is simple: multiplexing the signal to be amplified by application of a pump laser into the doped fibre, and then amplifying it through interaction with the doping ions. It is interesting to note that a lot of work in this direction has recently been reported on Erbium Doped Fibre Amplifier (EDFA), having the core of a silica fibre, doped with trivalent erbium ions, which is efficiently pumped with a laser at a wavelength of 980 nm or 1,480 nm, resulting in gain around 1,550 nm region.

Thus, it is clear that an erbium-doped waveguide amplifier (EDWA) is an optical amplifier, which uses a waveguide to boost an optical signal. Chopra [5] has made a detailed study of the diode pumped Er Fiber Lasers and discussed qualitatively some novel studies on them.

A.4 Parallel optical interface technology

Aparallel optical interface is a form of fiber optic technology, used mainly for communications and networking purposes at short distances (< 300 meters), for high bandwidths. These optical interfaces are different from traditional fiber optic communication in the sense that the data is simultaneously transmitted and received over multiple fibers. The data is split up over this high bandwidth link by using different methods,

the simplest form, being the parallel optic link, which in fact is a replacement for many serial data communication links.

However, for more typical application, one byte of information is split up into bits and each bit is coded and sent across the individual fibers.

A.5 Photomultiplier technology

Just like the electricity, which is considered as electron current, light can be seen as a photon current, the respective fields being called electronics and photonics. The particle-photon possesses a given momentum, and in a photomultiplier, a large amount of multiplication takes place, by arranging a number of electrodes as shown in the Fig. 2.

It should be noted that the pulses recorded in the photomultiplier are due to the quantum jumps inside the material and not to the granular structure of light, in the same manner as in case of the photographic plate in Taylor's experiment. However, the effects like - Photoelectric Effect and Compton Effect are understood on the basis of a classical wave.

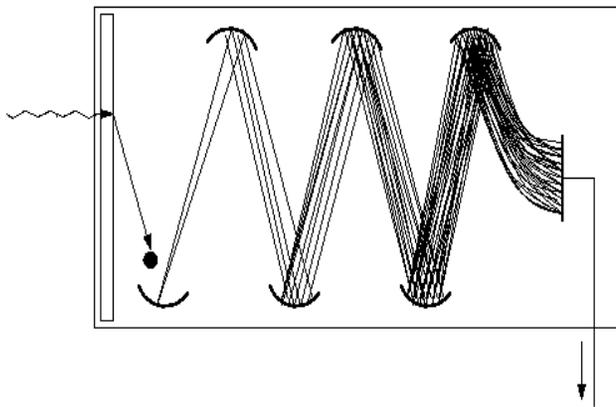


FIGURE 2. The schematic of a photomultiplier.

Whereas waves are continuous, nonlocalized, and breakable; the Photons are discontinuous, localized, and unbreakable. In a crucial experiment, the semitransparent plate showed that a photon is not cut into two. Interestingly, a very faint source does not produce a true one photon state.

However, a beam is a superposition of different states, e.g. a faint source does not give a clear result. Also, a single dipole (e.g. atom or ion) emits a single photon at a time. The first experimental proof of the particle nature of light was provided by the one photon interference. The non linear optics experiments performed showed that with a pump at frequency ω_0 , the crystal generates twin photons at frequencies ω_1 and ω_2 , with a perfect correlation between the two channels, besides the fact that the system behaves as an efficient source of single photon states. In addition, it is not possible to describe the resulting light in the form of the

two classical waves emitted by a crystal described in a quantum manner.

Many different versions of light that have been accepted are:

- (i) Light can behave like a classical wave *i.e.* Classical interferences;
- (ii) Light can behave like a classical particle *i.e.* One photon interferences; and
- (iii) Light can behave like a non classical state *i.e.* Two photon interferences.

A.6 Two photon multiplier by parametric down conversion

If the down converted light is made to pass through appropriate filters, it is possible to see both of the daughter photons called signal and idler. Particularly, we can choose to filter light, which has exactly twice the wavelength of the ultraviolet pump, the process being called the choosing of the degenerate down converted wavelength.

Photons of one polarization - signal are emitted in only one particular set of angles, and of the other polarization - idler, are emitted in another direction, corresponding to the momentum conservation. An interferometer using the photon pairs from the spontaneous parametric down conversion (SPDC) was first used to show the quantum nature of light; the schematic being called the Hong-Ou-Mandel dip experiment, as shown below:

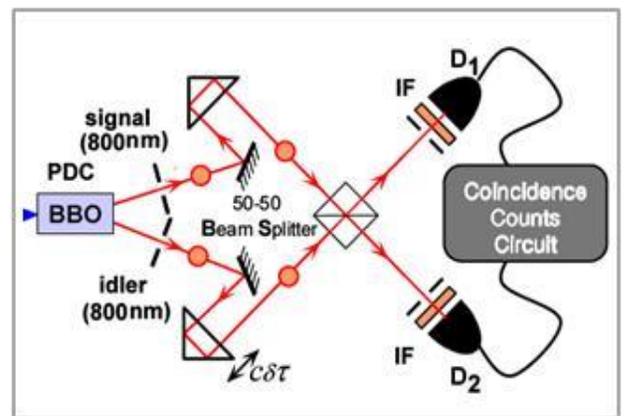


FIGURE 3. Hong-Ou-Mandel dip experiment for the generation of a photon pair by parametric down conversion (PDC); in which two photons are overlapped on a beam splitter spatially and temporally.

D_1 and D_2 are the detectors. In the SPDC apparatus design, a strong laser beam called the pump beam, is directed at a beta barium borate (BBO) crystal. It is observed that though most of the photons pass straight through the crystal, some of them occasionally, undergo spontaneous down conversion with type II polarization correlation (having perpendicular polarizations), so that the resultant correlated photon pairs have trajectories confined within two cones, with axes

symmetrically arranged with respect to the pump beam. If one of the pair - the signal is detected at any time, then its partner - the idler is also known to be present.

The two photons are symmetrically located within the cones, because of the conservation of energy. Also, there is the possibility of the trajectories of the photon existing simultaneously in the two lines of intersection of the cones, thereby resulting in the entanglement of the photon pairs within the two lines w.r.t. the polarization.

Thus, it is clear that the SPDC is stimulated by the random vacuum fluctuations, resulting in the creation of the photon pairs at random times. It is to be noted that the single photons as well as the photon pairs are useful in quantum information experiments, and have applications like quantum cryptography.

Interestingly, it was observed that the coincidence counts dropped down when the path lengths of the photons became identical; which established the two photon interference.

A.6.1 Photon bunching (thermal nature in the process of SPDC)

SPDC is a process, in which the photons from a pump laser beams are randomly converted into pairs of photons at lower frequency, and thus creates the optical fields containing a single photon. This process is termed as photon bunching, in which the light consists of a stream of photons, with the photons clustered together in bunches.

The thermal nature of the field in one arm of a SPDC source has been studied, and the photon statistics of weak light pulse emitted in the process of pulsed parametric down-conversion have already been measured by using the arrangement shown below:

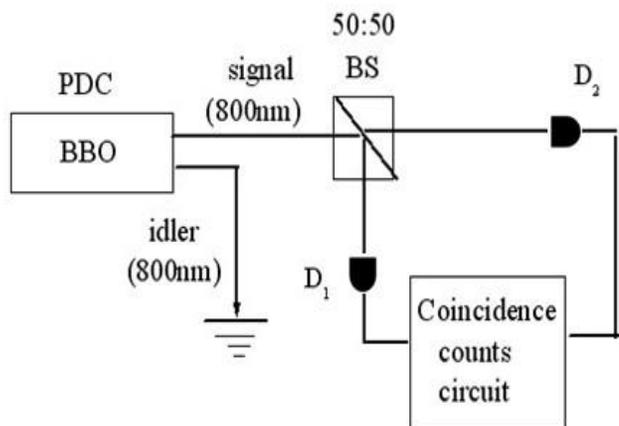


FIGURE 4. Schematic for studying the Photon bunching, showing the thermal nature in the process of SPDC.

A beam splitter is used for dividing the signal into two parts, half in the reflection and half in transmission. The circuit does the counting of the coincidence counts, which establishes the photon bunching.

A.7 Electric field of a few femtosecond flash

Planck gave the theory that light moves in discrete bundles *i.e.* photons; and Einstein expanded this by providing the explanation of the photoelectric effect to define the photon theory of light. With the development of the maser and laser, quantum optics began being used as the term for this specialized field of study.

Based on the findings of the quantum electrodynamics, quantum optics is interpreted in the form of the creation and annihilation of photons, described by field operators. The lasers and masers are obviously the most important applications of the quantum optics, since the light emitted from these devices is coherent, which means that the light closely resembles a classical sinusoidal wave.

Thus, the quantum mechanical wave function is distributed equally, and hence the light emitted from a laser is, highly ordered, and mostly limited to the same energy state *i.e.* the same frequency and wavelength. The variation of the light electric field with time is available in the literature, and has been reproduced below:

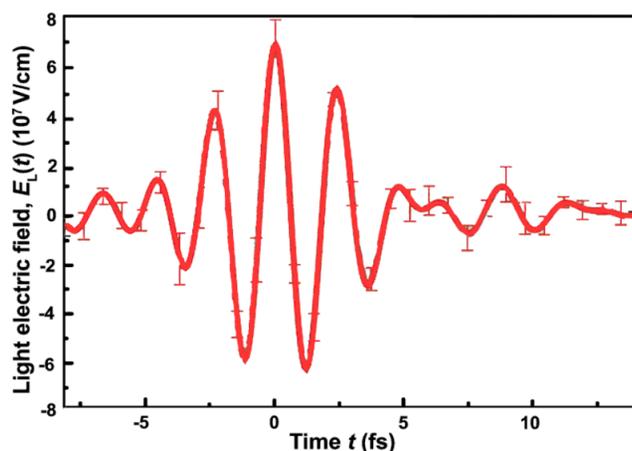


FIGURE 5. The electric field of a few femtosecond flash. Figure courtesy www.mpg.d.

The curve depicts the electric field of a few femtosecond flash of red light, as recorded by an apparatus called the attosecond oscilloscope. It is possible to measure the ultrabroad band light pulses (consisting of the many different colours), directly and accurately, leading to the reproducible synthesis of the ultrashort flashes of light with arbitrary waveform, which are useful for a number of applications including the development of molecular electronics and X-ray lasers.

A.7.1 Ultrafast electron sources

A very interesting phenomenon has been observed that on irradiating a field emission tip electron source with the femtosecond optical pulses, the electron packets with femtosecond duration are emitted from the tip. In the initial

experiments, the primary tip source fabricated from Tungsten was used.

By trying other new shapes and tip materials like Gold or Silver, possibility of creating the sub laser cycle electron (attosecond) packets has been explored, which can be useful in a variety of experiments including those for testing the Electron Quantum Optics.

In the beginning, most of the quantum optics studies were based on the studies of the photon, a boson, and the related statistics, with very little effort on the use of the fermions and electrons for conducting the fundamental studies; especially the role of the free electrons in the experimental field of electron quantum optics being relatively unexplored, due to the obstacle that the available sources at that time were of very low degeneracy.

With the development of the new sources, which use the ultrafast femtosecond laser pulses to initiate electron emission from the nanometer tips, the degeneracy of the subsequent electron beam has been greatly increased, which has led to the efforts in developing fermionic analogues to extremely important photon quantum optics techniques, and thus providing a powerful tool in testing the dynamical theories of the quantum optics and the related optoelectronics devices. The schematic of the apparatus used for such studies is shown below:

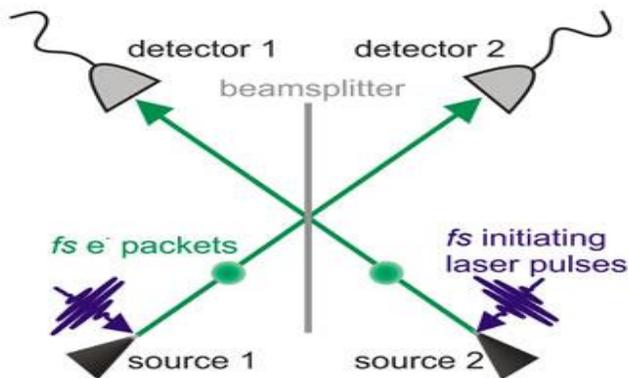


FIGURE 6. Ultrafast electron sources.

A.7.2 Electron pulse compressors

It is observed that the electron packets in vacuum disperse on traveling in vacuum, which results in the spreading of the electron packet in space, and hence having a longer duration, though with a decreased temporal resolution for experiments relying on the duration of the electron packet for studying the related dynamics.

This problem has been overcome by developing methods to compress the electron packets after their dispersion. Especially, the femtosecond laser pulses can be used for directly compressing a freely propagating electron packet, and thus making it possible to synthesize the attosecond electron packets.

III. SOME NOVEL STUDIES AND CONCLUDING REMARKS

It has now been well established that the Quantum optics is the union of the quantum field theory and physical optics. The developments in this field have led to the progress in the fields of quantum computing, quantum cryptography and also in the development of the laser fundamental experimental studies on the foundations of quantum mechanics using quantum optics including the demonstrations of the entanglement, and teleportation.

Recently, momentum seems to have picked up in the studies [6, 7, 8, 9] on this interesting field. It is now well known that the generation of time-bin entangled photon pairs requires the use of the Franson interferometer which consists of two spatially separated unbalanced Mach-Zehnder interferometers through which the signal and idler photons from SPDC are made to transmit individually.

The scheme is known to work for the two SPDC pumping regimes: the narrowband regime and the double-pulse regime. Whereas in the first case, the SPDC process is pumped by a narrowband cw laser with the coherence length much longer than the path length difference of the Franson interferometer, in the second case, the longitudinal separation between the pulse pair is made equal to the path length difference of the Franson interferometer.

Gmahl [10] has discussed the ultrafast interaction of light with matter so that the communication can be done almost by using the semiconductor structures embedded in an optical microcavity.

Chopra [11] has discussed the modeling and designing aspects of the optical microcavities, and has also reviewed their novel applications.

Zrenner *et al.* [12] have discussed that the optical properties of semiconductor quantum dots are quite similar to those of atoms, since they can be defined by the state-of-the-art semiconductor technologies, and exhibit long-term stability besides allowing for the well-controlled and efficient interactions with both optical and electrical fields.

Zrenner *et al.* [12] have also shown that the resonant ps excitation of single quantum dot photodiodes leads to the new classes of coherent optoelectronic functions and devices, which exhibit precise state preparation, phase sensitive optical manipulations, and also the control of quantum states by electrical fields.

Quantum non-demolition (QND) measurements are known to improve sensitivity by evading measurement back-action.

Sewell *et al.* [13] have demonstrated a certified QND measurement of the collective spin of an atomic ensemble, by observing quantum-state preparation (QSP) and information-damage trade-off (IDT) beyond their classical limits by 7 and 12 standard deviations, respectively.

It has been emphasized that their techniques complement the recent work with microscopic systems, and can be used for quantum metrology and memory, the preparation and

detection of non-Gaussian status, and quantum simulation and information purposes.

Photons are found to be the ideal carriers of quantum information for communication, and each photon can have a single or multiple qubits encoded in its internal quantum state, as defined by the optical degrees of freedom such as polarization, wavelength, and transverse modes. However, since the photons do not interact, multiplexing and demultiplexing the quantum information across photons has so far not been possible.

Vitelli *et al.* [14] have introduced and demonstrated experimentally a physical process, named ‘quantum joining’, in which the two-dimensional quantum states (qubits) of two input photons are combined into a single output photon, within a four-dimensional Hilbert space.

They have also proposed the inverse process, in which the four-dimensional quantum state of a single photon is split into two photons, each carrying a qubit. It has been claimed that both these processes can be iterated, and hence provide a flexible quantum interconnect to bridge multiparticle protocols of quantum information with multidegree-of-freedom, and with possible applications in future quantum networking.

Duarte [15] has written a book on Quantum Optics for Engineers, which provides a transparent, and methodical, introduction to Dirac's bracket notation, derivation of the basic aspects of quantum mechanics such as Heisenberg's uncertainty principle and Schrodinger's equation, and illustrates the interferometric quantum origin of diffraction, refraction, and reflection.

Kwon *et al.* [16] have proposed another regime by which the generation of time-bin entanglement is possible, and have demonstrated the scheme experimentally. Their scheme is different from the previous approaches, in the sense that the SPDC process is pumped by a cw multi-mode *i.e.*, short coherence length laser and makes use of the coherence revival property of such a laser. It has been concluded that the high-quality time-bin entanglement source can be developed using inexpensive cw multi-mode diode lasers for various quantum communication applications.

Ramirez-Alarcon *et al.* [17] have presented a theoretical and experimental analysis of the joint effects of the transverse electric field distribution and of the nonlinear crystal characteristics on the properties of photon pairs generated by the SPDC. It is known that for a sufficiently short crystal, the pump electric field distribution fully determines the joint signal-idler properties; and for the case of the longer crystals, the nonlinear crystal properties play an important role.

Ramirez-Alarcon *et al.* [17] have presented the experimental measurements of the angular spectrum and of the conditional angular spectrum of photon pairs produced by the SPDC, carried out through the spatially resolved photon counting.

Lozovoy *et al.* [18] have carried out an analysis of tendencies of Ge on Si quantum dots nanoheterostructures' usage in different optoelectronic devices like, solar cells and photodetectors of visible and infra-red regions, and have described a complex mathematical model for calculation of dependency on growth conditions of self-organized quantum

dots of Ge on Si grown using the method of molecular beam epitaxy parameters, by considering the ways of segregation effect and underlying layers' influence.

It has been shown that for realization of good device characteristics, quantum dots should have high density, small sizes, uniformity, and narrow size distribution function. It has been emphasized that the desirable parameters of arrays of square and rectangular quantum dots for device application are attainable under certain growth conditions.

In view of these novel studies, it can be concluded that the subject has been evolving fast, and also finding applications in the entirely new areas.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author is grateful to the Dr. Nand Kishore Garg, Chairman, Maharaja Agrasen Institute of Technology, GGSIP University, in Delhi for providing the facilities for carrying out this research work, and also for his moral support.

The author is thankful to Dr. M. L. Goyal, Director, for encouragement.

Thanks are also due to Dr. V. K. Jain, Deputy Director for his support during the course of the work.

The author is grateful to Prof. V. K. Tripathi, Plasma Division, Department of Physics, Indian Institute of Technology, Delhi, for some useful discussions and suggestions resulting in significant improvement in the presentation of the paper.

The author is highly grateful to Prof. Dr. Laura Ronchi Abbozzo, Institute of the National Institute of Applied Optics, in Italy for showing interest in my research work, and for suggesting some important points, which have greatly helped in improving the contents and readability of my papers.

Thanks are due to the listed agencies for providing the images.

REFERENCES

- [1] Chopra, K. N., *A technical note on spintronics (An off -shoot of electronics). Its concept, growth and applications*, Atti Fond G. Ronchi **68**, 293-303 (2013).
- [2] Chopra, K. N., *A short technological note on some novel concepts connected with spintronics*, Inv. J. Sc. Tech. **6**, 1-14 (2013).
- [3] Chopra, K. N., *A short note on the mathematical modeling of spintronic devices*, Atti Fond G. Ronchi **68**, 39-54 (2013).
- [4] Markvart & Castañer L., *Practical handbook of photovoltaics. Fundamentals and applications*, (Elsevier, Philadelphia, 2003).
- [5] Chopra, K. N., *A Technical note on the diode pumped er fiber lasers and a short review of some important novel studies*, Atti Fond G. Ronchi **69**, 299-310 (2014).
- [6] Goban, A., Choi, K. S., Alton, D. J., Ding, D., Lacroûte, C., Pototschnig, M., Thiele, T., Stern, N. P. & Kimble, H. J.,

Demonstration of a State-Insensitive, Compensated Nanofiber Trap, Phys. Rev. Lett., **109**, 033603 (2012).

[7] Chang, D. E., Jiang, L., Gorshkov, A. V. & Kimble, H. J., *Cavity QED with atomic mirrors*, New J. Phys. **14**, 063003 (2012).

[8] Hung, C.-L., Meenehan, S. M., Chang, D. E., Painter, O. & Kimble H. J., *Trapped atoms in one-dimensional photonic crystals*, New J. Phys. **15**, 083026 (2013).

[9] Chang, D. E., Cirac, J. I. & Kimble, H. J., *Self-organization of atoms along a nanophotonic waveguide*, Phys. Rev. Lett. **110**, 113606 (2013).

[10] Gmachl, C., *Quantum optoelectronics: Swift switch of the strong*, Nature **458**, 157-158 (2009).

[11] Chopra, K. N., *A technical tutorial on the modeling and designing aspects of the optical microcavities and a short review of their novel applications*, Atti Fond G. Ronchi **64**, 737-748 (2014).

[12] Zrenner, A., Ester, P., Michaelis de Vasconcellos, S., Hübner, M. C., Lackmann, L., Stufler, S. & Bichler, M., *Coherent optoelectronics with single quantum dots*, J. Phys.: Condens. Matter **20**, 454210 (2008).

[13] Sewell, R. J., Napolitano, M., Behbood, N., Colangelo, G. & Mitchell, M. W., *Certified quantum non-demolition measurement of a macroscopic material system*, Nature Photonics **7**, 517-520 (2013).

[14] Vitelli, C., Spagnolo, N., Aparo, L., Sciarrino, F., Santamato, E. & Marrucci, L., *Joining the quantum state of two photons into one*, Nature Photonics **7**, 521-526 (2013).

[15] Duarte F. J., *Quantum optics for engineers* (Taylor and Francis, New York, 2014).

[16] Kwon, O., Park, K. K., Ra, Y. S., Kim, Y. S. & Kim, Y. H., *Time-bin entangled photon pairs from spontaneous parametric down-conversion pumped by a cw multi-mode diode laser*, Opt Express. **21**, 25492-500 (2013).

[17] Ramirez-Alarcon, R., Cruz-Ramirez, H. & U'Ren, A. B. *Effects of crystal length on the angular spectrum of spontaneous parametric downconversion photon pairs*, Laser Physics **23**, 055204 (2013), arXiv:1306.4903v1 [quant-ph].

[18] Lozovoy, K. A. , Voytsekhovskiy, A. V., Kokhanenko, A. P., Satdarov, V. G., Pchelyakov, O. P. & Nikiforov, A. I., *Heterostructures with self-organized quantum dots of Ge on Si for optoelectronic devices*, Opto-Electronics Review **22**, 171-177 (2014).

Simulación de la máquina de Atwood para estudiantes de Física



Rubén Sánchez Sánchez

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Legaria. Calzada Legaria No. 694. Colonia Irrigación. Delegación: Miguel Hidalgo. C.P. 11500, Ciudad de México.

E-mail: rbnsnchz@yahoo.com.mx

(Recibido el 25 de Marzo de 2016, aceptado el 30 de Mayo de 2016)

Resumen

Este documento trata sobre la forma en como se puede proponer a los estudiantes una actividad interesante para entender la mecánica de Lagrange aplicada a la máquina de Atwood y al mismo tiempo proponer una solución numérica del problema para la creación de una simulación que pueden utilizar para describir el movimiento y comprender como funciona el mismo. De esta manera los estudiantes pueden apreciar los fundamentos de la mecánica en un ejemplo sencillo de la mecánica clásica, y al mismo tiempo pueden aprender del mismo participando en su propio proceso de aprendizaje.

Palabras clave: Máquina de Atwood, simulaciones, enseñanza de la Física.

Abstract

This paper deals with the way in which students can be offered an interesting activity to understand the Lagrange mechanics applied to the Atwood machine and at the same time to propose a numerical solution of the problem for the creation of a simulation that they can use to describe the movement and understand how it works. In this way students can appreciate the fundamentals of mechanics in a simple example of classical mechanics, and at the same time can learn from it by participating in their own learning process.

Keywords: Atwood's Machine, simulations, Physics education.

PACS: 02.30.Hq, 01.40.-d, 01.50.-i, 01.50.H-

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

El uso de tecnología de la información y la comunicación o de TIC, como auxiliares en la educación, no es un concepto nuevo. Gracias a que las tecnologías de la información ya son accesibles a diversas partes del mundo, es relativamente sencillo y económico proponer una actividad en la clase de Física para que los estudiantes aprovechen mejor su tiempo y al mismo tiempo participen en su propio proceso de formación. En las siguientes páginas describimos como utilizar el paquete de programación Easy Java Simulations de Francisco Esquembre (Catedrático de la Universidad de Murcia en España) [1, 2], para lograr aplicarlo en la escritura del código necesario para construcción de una simulación de programación que describa el movimiento de las masas en una tradicional Máquina de Atwood.

II. EASY JAVA SIMULATIONS

Con el objeto de construir una simulación para describir el movimiento de las masas en una máquina de Atwood es importante contar con una herramienta de software que facilite el trabajo y que tanto para el estudiante como para profesor y la institución sea económico o gratuito. Para esto se sugiere un paquete de programación ya prediseñado para tal propósito y que sea gratuito. Hay varias posibilidades si buscamos en internet, sin embargo, aquí nos ocuparemos de describir la programación en el paquete didáctico preparado por el profesor Francisco Esquembre, su nombre es Easy Java Simulation o EJS [2], y se puede

bajar fácilmente de su página de internet su URL (Uniform Resource Locator) es fem.um.es/Ejs. Una vez que bajemos el paquete y lo descomprimamos con alguna herramienta de descompresión adecuada nos encontraremos con una carpeta donde se encuentran todos los recursos necesarios para ejecutar el programa, y empezar a editar nuestra simulación sobre el movimiento de la máquina de Atwood.

La carpeta varía en su nombre, por ejemplo, para el tiempo de este trabajo se llama EjsS_5.2, donde 5.2 es la versión del programa. Adentro de la carpeta existe el archivo EjsConsole.jar, a este archivo hay que darle un click de ratón para empezar a ejecutarlo. Después de responder a unas sencillas preguntas como donde va a ser nuestro espacio de trabajo o carpeta de trabajo y nuestro nombre. Easy Java Simulations se abre mostrando dos ventanas. Una de ellas solo nos muestra, varias opciones, y el área de mensajes. La otra ventana con el nombre EjsS 5.2 en nuestro caso, es la ventana principal de edición de EJS, donde habremos de trabajar y escribir la simulación para la máquina de Atwood.

Para escribir una simulación en Easy Java Simulations necesitamos comprender que la preparación o escritura de la simulación se consigue al realizar tres pasos fundamentales, que están representadas por tres radio-botones en el menu principal y superior de la ventana principal o de edición de simulaciones de EJS. Entonces estas tres fases son:

- Descripción
- Modelo
- Vista

Rubén Sánchez Sánchez

La fase de la “descripción” se refiere a la escritura de una página web que contenga las características principales del fenómeno físico, que se vaya a simular. Aquí se puede dar una breve explicación del movimiento, y se pueden introducir las variables que participan en la ecuación de movimiento del mismo. Esta, es quizá, la parte más sencilla de la simulación, y como solo se requiere de la edición de un breve documento que describa la teoría del fenómeno físico que reproduce la simulación, no es necesario ahondar tanto en este paso. Los siguientes pasos son más elaborados y trataremos de describirlos en las siguientes páginas.

La fase del Modelo, se refiere a la introducción de las variables que intervienen en la ecuación del movimiento, así como la parte de la misma ecuación de movimiento y como esta puede ser resuelta, generalmente con algún método numérico.

La fase de la vista se refiere a como los elementos gráficos del fenómeno físico, en este caso la máquina de Atwood, se ligan con las variables dinámicas que describen el movimiento de nuestro ejemplo.

Las últimas fases son de extrema importancia para lograr que la simulación trabaje de manera efectiva. Así que en las siguientes secciones describiremos como lograr escribir y completar estas dos fases de escritura de la simulación para la máquina de Atwood.

III. DESCRIPCIÓN

Siendo esta parte la más sencilla de explicar, diremos que se parece a un editor de texto bastante sencillo. La mayor parte de nosotros estamos familiarizados con programas de edición de texto como Word de Microsoft o Pages de Apple, o bien, Open Office que es software libre. Entonces si seleccionamos el primer radio botón del menu superior de la ventana principal o de edición de EJS, abrimos una sencilla y simplificada ventana de edición de texto. En la parte superior está el título de esta breve descripción. Más abajo existe un pequeño menu con las opciones de un editor de texto, y en la parte de abajo hay otra sección que es una barra de botones con las herramientas más utilizadas.

Después de escribir una descripción del fenómeno, posiblemente añadiendo ecuaciones y dibujos o gráficas como ilustraciones, se puede dar por terminada esta parte. Después sigue la parte del *Modelo* y por último la *Vista* que detallaremos en los siguientes párrafos.

Una máquina de Atwood consta de una polea fija a una pared, techo, o algún otro soporte mecánico. Alrededor de la polea se coloca una cuerda casi sin masa y con longitud l . Un extremo de esta cuerda esta atada a una pesa de masa m_1 , y el otro extremo a un cuerpo de masa m_2 . A partir de cierta posición inicial, se deja que la gravedad actúe y haga caer a la mayor masa, haciendo que el sencillo mecanismo, provoque el ascenso del cuerpo con menor masa. La tarea de la simulación es describir este sencillo movimiento. Y la tarea del estudiante en el salón de clases es asimilar el conocimiento, de que el movimiento puede ser descrito con las leyes de Newton o con la descripción de Lagrange, dependiendo del grado de estudios del estudiante, que puede variar desde el nivel preparatoria, hasta los primeros años de la Carrera de ingeniería o de ciencias en Física, o bien hasta el primer periodo escolar de una Maestría en Física. A pesar de que a veces el nivel de estudios es alto, se puede llevar a una etapa más temprana en la formación de estudiantes, dado que el ejemplo de la Mecánica Clásica, es bastante sencillo. En la figura 1, se muestra una disposición aleatoria en el tiempo de evolución del

movimiento, para la Máquina de Atwood, se aprecia la polea, la cuerda, y las dos pesas.

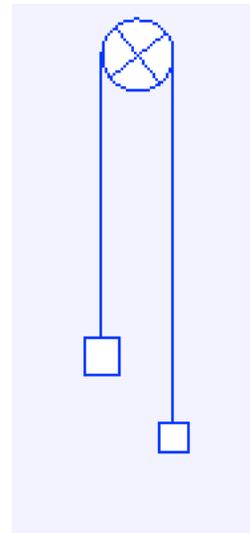


FIGURA 1. Máquina de Atwood, se muestran los componentes esenciales de la máquina de Atwood sin asignar todavía a las variables del movimiento. Imagen tomada de la simulación para $t=0.910$ seg, de evolución.

V. MODELO

Seleccionamos el radio botón de “Modelo” en la ventana de edición de Easy Java Simulations para editar la segunda fase de la simulación, aparecen otros seis radio botones abajo del radio botón Modelo, estos son

- Variables
- Inicialización
- Evolución
- Relaciones fijas
- Propio
- Elementos

Aquí nos ocuparemos de editar las subsecciones de Variables, Evolución y Relaciones fijas, los demás radio botones, dependiendo de los gustos y necesidades de cada usuario pueden, o no, ser usados. En la subsección de *Variables*, como su nombre lo indica, anotamos a todas las variables dinámicas que participan para describir matemáticamente el movimiento de la máquina de Atwood. En la subsección denominada *Evolución*, anotamos el código en Java que representa la aproximación numérica a la solución de la ecuación diferencial que rige el movimiento de la máquina de Atwood. Y en la subsección denominada *Relaciones fijas*, anotamos a las constantes del movimiento y a ciertas ecuaciones algebraicas que no varían en el tiempo, y que por lo tanto se mantienen “fijas” durante todo el tiempo de ejecución de la simulación. En las siguientes secciones describimos como llenar cada una de estas subsecciones.

V. VARIABLES DINÁMICAS DE LA MÁQUINA DE ATWOOD

En toda simulación y en todo modelo matemático que describa un movimiento, son indispensables un conjunto de variables que estén ligadas a los elementos físicos del fenómeno o del aparato mecánico, que queremos describir. La máquina de Atwood, es un buen ejemplo didáctico debido a su sencillez y a que puede admitir tanto el formalismo tradicional que es el que describe las fuerzas que intervienen y se identifica como el modelo newtoniano, así como también el modelo quizá un poco más matemático de Lagrange. Así que es una oportunidad didáctica ejemplar para demostrar la utilidad de ambas formulaciones matemáticas.

Las variables que participan en la evolución y por lo tanto en la ecuación diferencial que describe el movimiento de las dos pesas en la máquina de Atwood son, entre otras, las siguientes: el desplazamiento s de una de las pesas, la longitud de la cuerda que ata a ambas pesas l , la masas de ambas pesas (m_1 y m_2), la aceleración de la gravedad g , que se mantiene constante, el tiempo t , y el incremento en el tiempo h para evolucionar en un paso el movimiento, la velocidad de una de las pesas v , el radio de la polea r , que es otra constante, y la aceleración que toma una de las dos pesas a .

Estas variables que se ajustan a la descripción del movimiento para la máquina de Atwood se pueden describir con detalle en una tabla.

La tabla 1, describe a todas estas variables que ocupamos para nuestra simulación.

TABLA I. Tabla de las variables que participan en la ecuación de movimiento, o en el movimiento para la máquina de Atwood. Se muestran solo sus valores iniciales. Todas las variables tiene un *tipo* en Java, que en este caso serían variables e doble precision o *double* en ingles. También tienen dimensiones físicas, pero por sencillez, en este trabajo se han omitido.

Variables	
Nombre	Valor inicial
s	0.5
l	5.0
m1	5.0
m2	2.0
g	9.8
t	0.0
h	0.005
v	0.0
r	0.25
a	$(m_1 - m_2) / (m_1 + m_2) * g$

En la figura 2. Mostramos como se pueden editar estas variables y valores iniciales dentro del programa EJS, para la subsección “Variables” del radio botón superior “Modelo”.

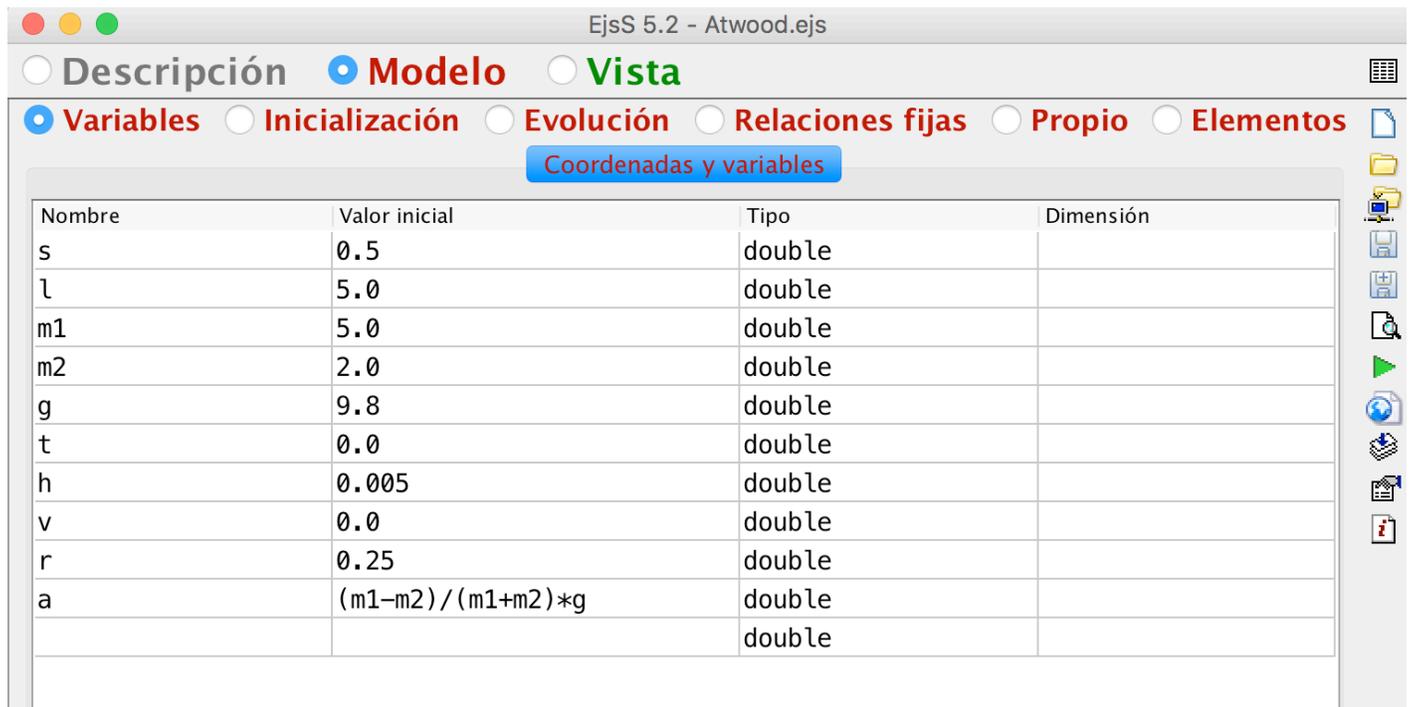


FIGURA 2. Tabla interna de variables de EJS, mostrando la manera en como quedan editadas estas variables en el programa. En la parte superior se nota el radio botón seleccionado *Modelo*, y abajo de él, el sub-radio-botón *Variables*, que corresponde a la subsección de la simulación que estamos editando, las variables obviamente corresponden a las ya listadas en la tabla 1.

Con la figura 2, hemos mostrado la manera de editar las variables, que es muy sencilla, todos los pasos del Modelo

son similares a este, pero se debe de tener un conocimiento mínimo del lenguaje de programación Java para estar mejor familiarizados con el manejo del programa de preparación

Rubén Sánchez Sánchez

de simulaciones físicas de Esquembre. La parte de la Inicialización ya no es necesaria cubrirla para el presente ejemplo, así que en la siguiente sección mostramos la manera de editar la subsección *Evolución*, parte del programa que requiere saber un poco más de la didáctica del lenguaje de programación Java, pero que sin embargo, el programa de Esquembre nos facilita bastante el trabajo permitiéndonos no trabajar desde cero, y volviendo al ejercicio, más didáctico y menos técnico. Nos permite concentrarnos más en los detalles físico-matemáticos del fenómeno de movimiento para la máquina de Atwood, que en los finos detalles del lenguaje de programación Java, que no tiene uno, sino varios y muy variados libros excelentes, que lo describen y se usan para aprender el lenguaje.

VI. LAGRANGIANO PARA ATWOOD

El modelo matemático que describe el movimiento de la máquina de Atwood es necesario para editar la parte *Evolución*, de EJS que es el tercer subradio-botón de la segunda fila de radio-botones mostrados en la figura 2.

El modelo puede ser el de fuerzas, para estudiantes de preparatoria o puede ser el de la formulación de Lagrange que podemos consultar en el excelente libro de Goldstein de Mecánica Clásica, [3]. Aquí mostramos los pasos brevemente para mejorar nuestra referencia. Pero si se quiere profundizar más en el formalismo lagrangiano, entonces si será necesario consultar al libro de referencia. En primer lugar a la distancia vertical desde el centro de la polea hasta la base inferior de la pesa izquierda de la máquina de Atwood la denominamos y enlazamos con la variable dinámica s .

En la figura 3 la longitud de la cuerda es aproximadamente l , para una polea de radio r muy pequeño. Aunque hay que notar que, en realidad (usando la figura 3 de referencia), se nota que la longitud real de la cuerda es de

$$l + \pi r, \quad (1)$$

donde r es el radio de la polea. En síntesis, la energía cinética del sistema a un tiempo de evolución t , está dado por

$$T = \frac{1}{2}(m_1 \dot{s}^2 - m_2 (l-s)^2) = \frac{1}{2}(m_1 + m_2) \dot{s}^2, \quad (2)$$

donde

$$\dot{s} = \dot{x} = \frac{ds}{dt} = v, \quad (3)$$

es la velocidad de la primera pesa y

$$(l-s)^2 = \frac{d}{dt}(l-s) = -\dot{s}^2, \quad (4)$$

es la velocidad de la segunda pesa. La energía potencial del sistema está dada por

$$V = -m_1 g s - m_2 g (l-s). \quad (5)$$

Para calcular el lagrangiano se necesita restar la energía potencial de la energía cinética, de manera que la función lagrangiana es

$$L = T - V, \quad (6)$$

$$L = \frac{1}{2}(m_1 + m_2) \dot{s}^2 + m_1 g s + m_2 g (l-s).$$

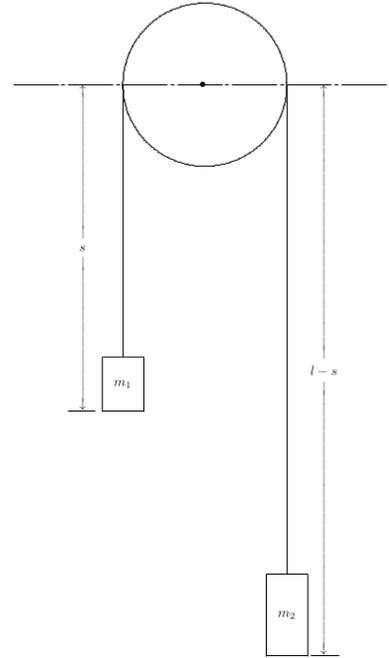


FIGURA 3. Máquina de Atwood, con algunas de sus variables mostradas gráficamente.

Las ecuaciones de la dinámica de Lagrange son, para este caso particular

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{s}} - \frac{\partial L}{\partial s} = 0, \quad (7)$$

o bien, ya que

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{s}} = (m_1 + m_2) \dot{s}, \quad (8)$$

y

$$\frac{\partial L}{\partial s} = (m_1 - m_2) g, \quad (9)$$

tenemos al sustituir en la ecuación de Lagrange (7), la siguiente relación algebraica para la máquina de Atwood.

$$\frac{d}{dt}((m_1 + m_2) \dot{s}) - (m_1 - m_2) g = 0, \quad (10)$$

o bien, después de simplificar, esto puede escribirse como

$$\ddot{s} = \frac{d}{dt} \dot{s} = \frac{dv}{dt} = a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} g. \quad (11)$$

C

La solución a sido bastante sencilla, y muestra el poder que tiene la formulación de Lagrange. Sin embargo, para

estudiantes de preparatoria, se acostumbra utilizar el formalismo newtoniano, que describe la misma situación para la máquina de Atwood, pero analizando las fuerzas de tensión de la cuerda, y la fuerza de gravedad, actuando en cada una de las pesas de la máquina.

En la siguiente sección aterrizamos estas ecuaciones, con una aproximación numérica, para la parte de la *Evolución* en el programa EJS de Esquembre.

VII. MÉTODO NUMÉRICO

El método numérico para aproximar la ecuación diferencial (11) es el método modificado de Euler o también conocido como el método del punto medio.

Las razones para hacerlo así, es que, el método del punto medio ofrece una aproximación bastante buena para la ecuación diferencial (11) de la máquina de Atwood. La otra razón es la sencillez para comprender como funciona el método numérico, pues es sólo un poco más complicada que el método de Euler, pero mucho más sencilla que un método de Runge-Kutta de cuarto orden.

Empezamos con un poco de nomenclatura que se usa generalmente en los métodos numéricos al lado derecho de la ecuación (11) que representa a la primer derivada de la variable independiente v .

$$f_2(t, v) = f_2(t, x') = \frac{dv}{dt} = \frac{ds}{dt} = \frac{(m_1 + m_2)}{(m_1 - m_2)} g. \quad (12)$$

Se divide el tiempo en una secuencia de puntos

$$t_0, t_1, t_2, \dots, t_{i-1}, t_i, t_{i+1}, \dots, t_{n-1}, t_n. \quad (13)$$

El intervalo entre un punto i -ésimo y su siguiente $i+1$ -ésimo es uniforme y constante, dada por una cantidad fija, llamada incremento de la variable independiente t , y denotada por la siguiente expresión:

$$\Delta t = h = t_0 - t_1 = t_2 - t_1 = \dots = t_i - t_{i-1} = \dots = t_{n-1} - t_n. \quad (14)$$

A cada valor de t corresponde un valor de $v = v(t) = x'$ que es una función de t . Así tenemos la secuencia de puntos correspondiente de esta variable.

$$v_0 = \dot{s}_0 = x'_0, v_1 = \dots = x'_1, \dots, v_n = \dot{s}_n = x'_n. \quad (15)$$

Y a cada par de valores de t y v corresponde un valor de f_2 . Y tenemos otra secuencia de valores

$$f_{2,0}(t_0, x'_0), f_{2,1}(t_1, x'_1), \dots, f_{2,i}(t_i, x'_i), \dots, f_{2,n}(t_n, x'_n). \quad (16)$$

Equivalente a la secuencia

$$u_0, u_1, \dots, u_i, \dots, u_n. \quad (17)$$

Para poder interpretar gráficamente el método numérico se requiere de la figura 4, y una breve interpretación de la misma [4]. Se supone que en el eje horizontal corre la variable t y en forma indirecta la variable $v = x'$, y en el eje vertical correrá la variable f_2 .

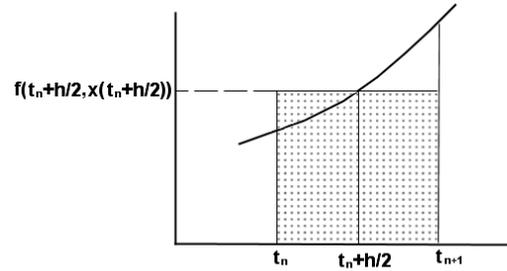


FIGURA 4. Representación gráfica del punto medio, como un área bajo la curva de una función f .

Como no conocemos el valor de la solución en el punto medio $t_n + h/2$, aproximamos el valor tomando en cuenta la aproximación del método de Euler:

$$u_{n+1/2} = u_n + \frac{h}{2} f_2(t_n, u_n). \quad (18)$$

El método del punto medio se escribe entonces como

$$\begin{aligned} u_0 &= x_0, \dots \\ u_{n+1} &= u_n + h f_2(t_{n+1/2}, u_{n+1/2}). \end{aligned} \quad (19)$$

O bien, se reescribe como

$$\begin{aligned} u_0 &= x_0, \dots \\ u_{n+1} &= u_n + h f_2\left(t_n + \frac{h}{2}, u_n + \frac{h}{2} f_2(t_n, u_n)\right). \end{aligned} \quad (20)$$

Ya que como sabemos, de la definición de la secuencia de puntos t , tenemos la sencilla relación

$$t_{n+1/2} = t_n + \frac{h}{2}. \quad (21)$$

El método de Euler modificado es de orden dos, y entonces es bastante bueno para el problema de la máquina de Atwood. Aquí hemos llamado f_2 , a la función de la figura 4, ya que existe otra función f dada ahora por otra primer derivada, pero de la variable s :

$$f_1(t, x) = f_1(t, s) = \dot{s} = \frac{ds}{dt}. \quad (22)$$

Que también tendrá su propia aproximación de Euler modificada.

En la siguiente sección trataremos de escribir el código de programación en el lenguaje Java que hace posible que la simulación pueda funcionar de acuerdo a la descripción matemática de este interesante ejemplo físico.

VIII. CÓDIGO JAVA PARA LA MÁQUINA DE ATWOOD

Antes de seguir con el programa de Esquembre, recomendamos al lector y a sus posibles estudiantes de Física, el escribir en una hoja en blanco el código de programación Java [5-12], que siga la aproximación

Rubén Sánchez Sánchez

descrita por el método de punto medio, para el caso particular de la máquina de Atwood.

$$\begin{aligned} s &= s + h * v; \\ v &= v + h * (m1 - m2) / (m1 + m2) * g; \\ t &= t + h; \end{aligned} \quad (23)$$

Esto es, para que la máquina de Atwood pueda evolucionar y cambiar conforme pasa el tiempo. Sin embargo, dado que la cuerda tiene una longitud finita la evolución tiene que checar que la extensión de la cuerda no se acabe. Cuando la cuerda se acaba, no se debe de producir mas movimiento. Por lo que el anterior código debería ser reemplazado por

$$\begin{aligned} s &= s; \\ v &= v; \\ t &= t + h; \end{aligned} \quad (24)$$

La condición para que aún no se termine la cuerda debe de ser $l - s > 0$. Por lo que el código de evolución tomando en cuenta (23) y (24) debe de tener la estructura lógica

$$\text{if } (l - s > 0) \{ \text{código 23} \} \text{ else } \{ \text{código 24} \} \quad (25)$$

Teniendo ya en cuenta este detalle podemos entonces pasar este código al editor de EJS, en la parte de Evolución, lo escribimos como se muestra en la figura 5.

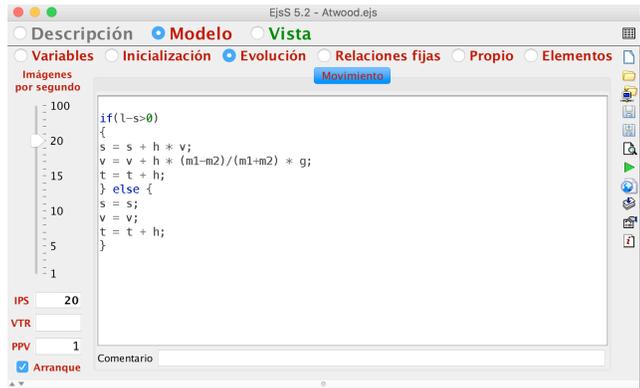


FIGURA 5. Manera de editar la parte evolución de la simulación, tomando en cuenta la estructura lógica vista en el código (25).

Para las relaciones que se mantienen fijas durante toda la simulación, podemos pasarnos al sub-radio botón de nombre *Relaciones fijas*, y editar el espacio destinado para ello con el siguiente código:

$$\begin{aligned} g &= 9.8; \\ r &= 0.25; \\ a &= (m1 - m2) / (m1 + m2) * g; \end{aligned} \quad (26)$$

Aquí hemos tomado en cuenta que g es una constante, pues es la aceleración de la gravedad, también r es otra constante pues es el radio de la polea, y la aceleración que experimentan las pesas es una constante también de acuerdo con su solución analítica, dada por la expresión matemática (11).

Recopilando todo esto, podemos escribir el espacio de edición de la ventana que corresponde al radio botón de *Relaciones fijas* como se muestra en la figura 6.

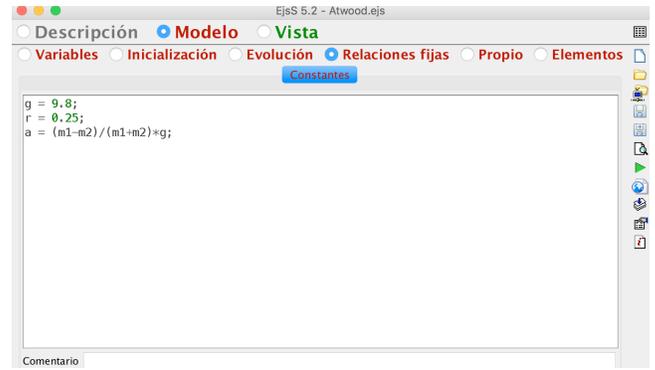


FIGURA 6. Edición de las relaciones matemáticas que permanecen fijas durante toda la simulación del movimiento de la máquina de Atwood. Las igualdades son las mismas mostradas en el listado de igualdades (26).

IX. VISTA DE LA SIMULACIÓN

La forma detallada de construir vistas para una simulación puede ser consultada en el libro de Francisco Esquembre [1]. Aquí lo que necesitamos es un breve resumen sobre todo de la manera en como podemos ligar nuestras variables a la ventana principal de nuestro programa escrito con EJS, donde toma parte el verdadero movimiento simulado de nuestra maqueta pictórica de la máquina de Atwood.

Desde luego, antes hay que construir los elementos esenciales de la máquina como lo son la polea, la cuerda y las dos pesas de Atwood.

El primer paso para construir la Vista, es desde luego elegir este modo de edición seleccionando el radio botón del mismo nombre localizado en la barra superior de la ventana principal del programa EJS, es el tercer radio botón, y por lo tanto, representa la última fase de edición de la simulación.

Una vez elegido este radio botón empezamos viendo que tenemos esencialmente dos espacios verticales de forma como de columna.

El espacio de la derecha se llama *Árbol de elementos* y es lo que tenemos que ir construyendo poco a poco, hasta que la simulación tenga elementos visibles a un posible usuario del programa, que desde luego en nuestro caso es tanto el profesor como los estudiantes del curso de Física.

El espacio de la izquierda es como una gran librería de recursos gráficos llamados *elementos*, que son los bloques básicos para ir construyendo las partes visuales de la simulación. A este espacio se le nombra *Elementos para la vista* y consta de tres bloques llenos de recursos que se disponen de forma vertical de arriba hacia abajo, los nombres de estos tres bloques principales son de arriba abajo

- *Interfaz*
- *Elementos de dibujo 2D*
- *Elementos de dibujo 3D*

Como ya probablemente se ha sospechado, aquí sólo necesitamos los elementos del primer y segundo bloque principal, ya que no utilizaremos para nada algún recurso en 3 dimensiones (o 3D).

Sólo necesitamos ventanas contenedoras que se encuentran en el bloque *Interfaz*, y algunos elementos en

dos dimensiones (2D), para por ejemplo, dibujar las partes de la máquina de Atwood.

Cada bloque de elementos tiene en su parte superior una serie de pequeños botones o barra superior de botones, y en su parte central y abajo, hay un espacio, donde se encuentran los verdaderos elementos gráficos. La manera de escoger un elemento gráfico, es por tanto, primero seleccionar una categoría dentro del bloque, oprimiendo uno de los botoncitos de la barra superior, y luego buscando en la parte inferior y central el elemento que necesitamos para cada ocasión.

Una vez seleccionado el elemento adecuado, haciendo un click izquierdo sobre él, guiamos el puntero del ratón hacia la columna Árbol de elementos, y la podremos soltar el elemento elegido sobre, por ejemplo la raíz (llamada *Vista de la simulación*), o cualquier otro elemento que previamente hallamos colocado ahí con anterioridad. Aparece una barrita mágica, sobre el elemento en el cual vayamos a soltar el nuevo elemento y hacemos un click izquierdo, ahí, soltando nuestro elemento seleccionado en la columna derecha (Elementos para la vista)

En la figura 7, se muestra el resultado de formar tres ventanas principales, en la primer ventana denominada *Máquina_de_Atwood* es donde primero construimos un modelo sencillo de máquina con una polea, una cuerda y un par de pesas, tal y como está dibujada en la figura 1.

Las tres ventanas que hemos agregado en la figura 7, son

- Máquina_de_Atwood
- Variables_dinámicas
- Espacio_Fase

En la figura 8 mostramos como el elemento de ventana *Máquina_de_Atwood*, le hemos añadido más elementos, con el objeto de construir la parte de la máquina de Atwood, que tendrá el movimiento, que hemos previamente calculado.

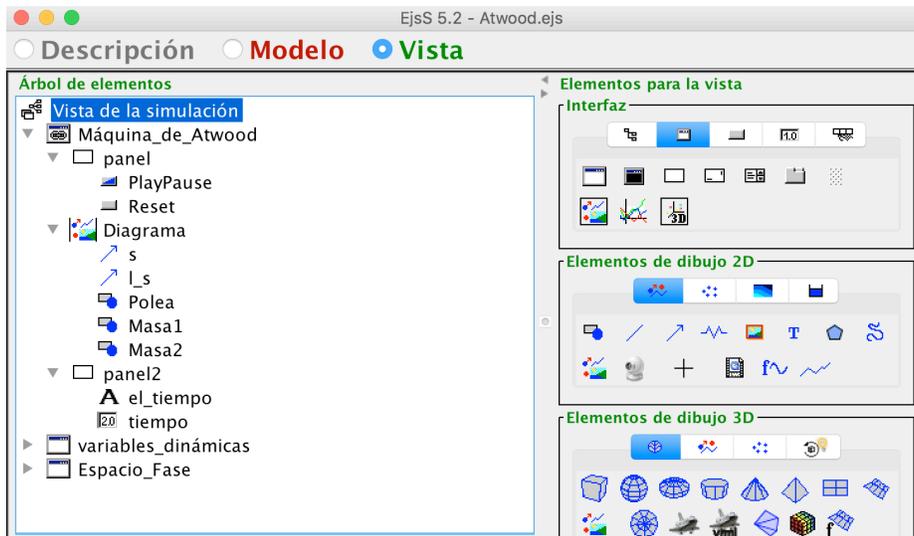


FIGURA 8. Elementos de la ventana principal donde va la Máquina de Atwood.

Como su nombre lo indica, el botón de dos estados *PlayPause*, sirve para correr o pausar la simulación, y el botón *Reset* sirve para reestablecer la simulación a sus condiciones iniciales. La forma de editar estos dos elementos, es haciendo un click derecho de ratón sobre

Simulación de la máquina de Atwood para estudiantes de Física
La ventana máquina de Atwood tiene tres elementos hijos que son los siguientes

- Panel
- Diagrama
- Panel2

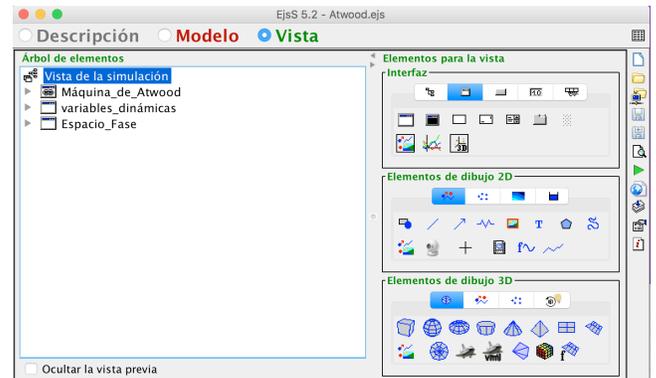


FIGURA 7. Elementos principales de la vista, agregados como ventanas a partir de los elementos del panel de la derecha *Elementos para la vista*. Las ventanas están en el primer bloque *Interfaz* eligiendo el segundo botón de su parte superior llamado *Ventanas, contenedores y paneles de dibujo*.

Los paneles sirven para contener otros elementos gráficos de control, y *Diagrama* es un *PanelDibujo*, que esencialmente es un espacio donde se pone el dibujo de la máquina de Atwood. El primer panel tiene dos elementos que son dos botones de control

- PlayPause
- Reset

cada uno de ellos y en el menú contextual que se despliega seleccionamos la opción *Propiedades*. En la figura 9 se ilustra esta acción.

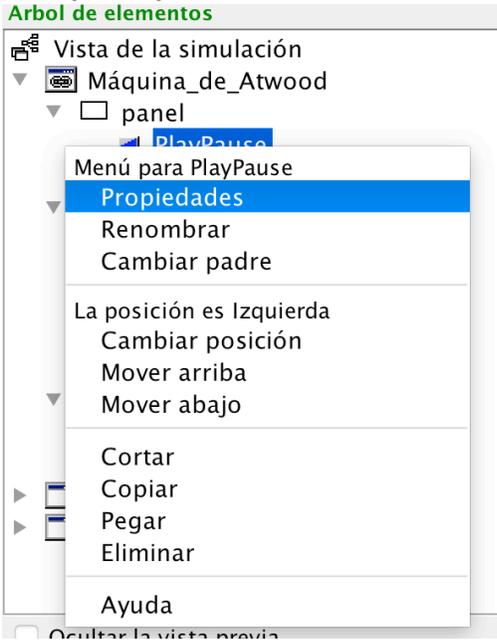


FIGURA 9. Menú contextual, para el botón PlayPause. A fin de editarlo se elige la opción *Propiedades* como se indica en esta figura, y se procede a edita la ventana que emerge de tal selección.

Al seleccionar esta opción del menú contextual, se abrirá una ventana, mostrando las *propiedades* propiamente dichas del elemento que hayamos seleccionado con el ratón. Para editar las propiedades del botón de doble estado PlayPause se despliega la ventana mostrada en la figura 10, y se edita de acuerdo a como se ve marcada la figura, editando los campos correspondientes de acuerdo a dicha figura.



FIGURA 10. Edición de las propiedades para el elemento botón de dos estados PlayPause. Se muestra la variable `_isPaused` y las Acción si `_play()`, junto con la Acción no `_pause()`, que controlan el estado de correr o pausar la animación.

Para escoger la *imagen si* y la *imagen no*, que muestran una imagen con pequeño triángulo acostado para la primer opción de *imagen si*, o dos barras verticales paralelas símbolo universal de *pause* para la segunda opción de *imagen no*. Se presiona el pequeño botón a la derecha del campo con la imagen de la figura 11.



FIGURA 11. Botón de propiedades, para seleccionar la imagen que va a ir como estado de botón, ya sea su estado de *play* o de *pause*.

La ventana que abre este botón se halla ilustrada en la figura 12, y como se ve, la ventana se llama *Archivos imagen*. En la parte izquierda de la ventana se encuentran varias imágenes que se pueden seleccionar utilizando el ratón, para ello. Entre las imágenes podemos localizar las del botón *play* y las del botón *pause*. Para imagen si se utiliza el botón de *play* y para imagen ni se usa la imagen del botón *pause*.

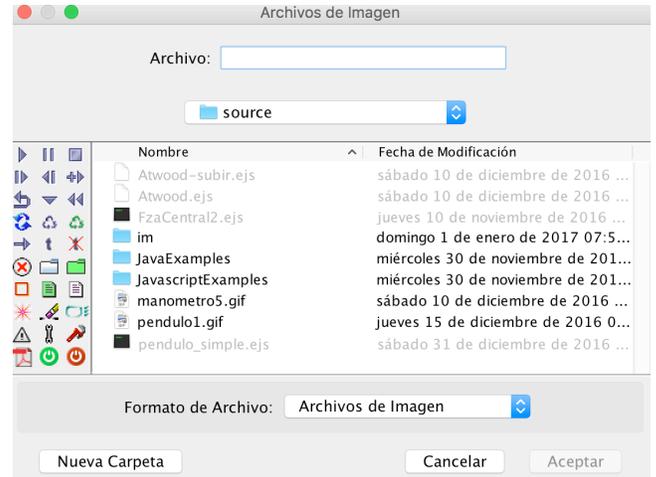


FIGURA 12. Ventana Archivos imagen, donde seleccionamos el tipo de imagen que tendrá nuestro botón de dos estados de acuerdo al estado del botón.

Ya tenemos editado nuestro botón de dos estados PlayPause. Para editar el botón Reset, accedemos a su ventana de propiedades, como ya hemos aprendido haciendo un click derecho y seleccionando la opción *Propiedades* del menú contextual que nos salga. La figura 13, nos muestra como editar sus propiedades, y nos debemos de acordar com o seleccionar una imagen para el botón, que lo hacemos de manera similar a como lo hicimos con el botón PlayPause.

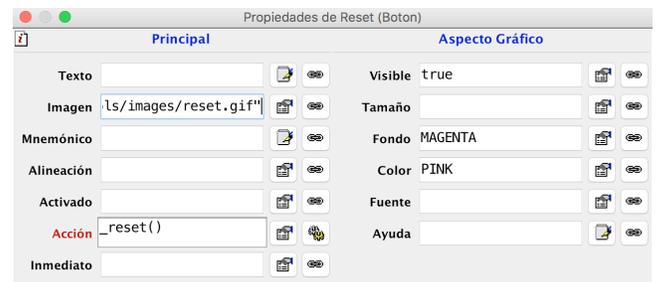


FIGURA 13. Ventana propiedades de Reset (Boton), mostrando como se llenan los principales campos para fijar sus propiedades.

Para editar las propiedades del elemento *Diagrama* que es un *PanelDibuj*, procedemos de la misma forma que con los botones, en la figura 14 podemos ver como editar sus propiedades, como la ventana es muy larga sólo mostramos las partes relevantes de edición.

Como un lector inteligente ya habrá notado, el proceso para construir lo que queda de la vista es un proceso repetitivo, y a veces un tanto tedioso, pero siempre consiste en ir añadiendo nuevos elementos al *Árbol de elementos*, y luego irlos agrupando en padres e hijos de acuerdo a una estructura lógica, dependiendo si unos elementos gráficos contienen a otros o no, entonces asumirán el papel de

padres de esos otros elementos, o podrán ser hijos de otros elementos.

También el lector habrá notado que una vez que se tienen todos los elementos de la vista ya construidos, seleccionados y debidamente agrupados, se necesita ir editando las propiedades de cada uno, lo cual puede resultar cansado después de editar las propiedades de los primeros elementos, pero dependiendo de una buena elección en estas propiedades, es como la simulación podrá trabajar o no, asumiendo desde luego que nuestra fase del modelo está matemáticamente bien escrita y editada en Java.

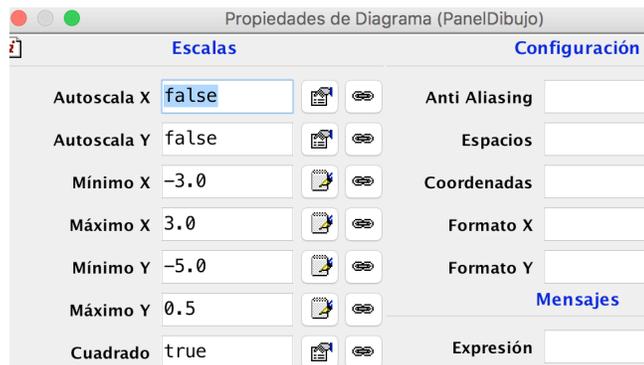


FIGURA 14. Ventana de Propiedades de Diagrama (PanelDibujo). Mostrando sus principales características, las demás están en blanco.

Trataremos de ser consistentes en las partes que nos quedan del artículo.

Nos falta editar las propiedades de dos tramos de cuerda, una la hemos denotado por s y a la otra la hemos llamado l_s . Las propiedades para el tramo de cuerda s están dispuesta en tres columnas

- Posición y Tamaño
- Visibilidad e Interacción
- Aspecto Gráfico

En Posición y Tamaño tenemos, los siguientes campos y valores asignados

Pos X: $-r$
 Pos Y: 0
 Tamaño X: 0
 Tamaño Y: $-s$

En la columna Visibilidad e Interacción, tenemos los siguientes campos y valores asignados

Visible: true
 Medible: true
 Movable: ENABLED_Y

Y por último, en la columna de Propiedades llamadas Aspecto Gráfico tendremos los siguientes campos y valores asignados

Estilo: SEGMENT
 Posición: SOUTH_WEST
 Color Línea: BLUE
 Color Relleno: BLUE
 Extra Color: BLUE
 Dibujar Relleno: true

Los demás campos se dejan en blanco como se muestra en la figura 15.

Simulación de la máquina de Atwood para estudiantes de Física



FIGURA 15. Propiedades de s (Flecha), mostrando los campos que se llenan con algunos valores.

La propiedad más importante de este trozo de cuerda sería el Tamaño Y, que representa a una de las variables dinámicas del sistema, pues se iguala con $-s$. De esta forma hemos ligado a la variable s con uno de los segmentos de la cuerda.

De manera similar llenamos las propiedades del otro segmento de cuerda l_s , abrimos la ventana Propiedades de l_s y hay tres columnas de campos de propiedades, como en el caso pasado. En la columna Posición y Tamaño, indicamos solamente los campos que llenamos y los valores con que los hemos dotado.

Posición y Tamaño:

Pos X: r
 Pos Y: 0
 Tamaño X: 0
 Tamaño Y: $s-l$

Para la segunda columna de propiedades tenemos:

Visibilidad e Interacción:
 Visible: true
 Medible: true
 Movable: ENABLED_Y

Y para la tercer columna de propiedades tenemos:

Aspecto Gráfico:
 Estilo: SEGMENT
 Posición: SOUTH_WEST
 Color Línea: BLUE
 Color Relleno: BLUE
 Extra Color: BLUE
 Dibujar Relleno: true

La más importante de estas propiedades o campos es el Tamaño Y que fue llenada con el valor $s-l$. De esta forma, ligamos a la variable dinámica del desplazamiento de la cuerda s con este otro tramo de la cuerda.

X. POLEA Y DOS MASAS

Además de los dos extremos de la cuerda, hay otros elementos hijos del *PanelDibujo* llamado *Diagrama*. Estos son: la *Polea* y las dos masas: *Masa1* y *Masa2*. Que son elementos gráficos de tipo *Forma*: Una forma 2D (elipse, rectángulo,...), del bloque de elementos *Elementos de dibujo 2D*, del botón superior *Elementos básicos de dibujo 2D*. Después de añadirlos con el ratón como hijos de *Diagrama*. Hay que editar sus propiedades En esta sección enlistamos sus propiedades, para que el lector pueda reconstruir la escritura de este pequeño programa de simulación para la máquina de Atwood.

Enlistamos a continuación, en la siguiente lista, las *Propiedades de Polea (Forma)* colocando las columnas de propiedades y anotando sólo los campos que hemos editado

Posición y Tamaño:

Rubén Sánchez Sánchez

Pos X: 0

Pos Y: 0

Tamaño X: 2*r

Tamaño Y: 2*r

Escala X: 1

Escala Y: 1

Transform: s

Visibilidad e Interacción:

Visible: true

Aspecto Gráfico:

Estilo: WHEEL

Color Línea: BLUE

Color Relleno: WHITE

Dibujar Líneas true

Dibujar Relleno: true

Quizá las propiedades más importantes sean Tamaño X, Tamaño Y, que dan el tamaño de la polea, Pos X, Pos Y, que nos da la posición de la polea y el Estilo que es WHEEL y que le da la forma de una rueda. En *transform* le damos de campo la variable s , para que la polea pueda rotar, con el desplazamiento s .

Esto es, básicamente el cuadro de propiedades para la polea. Ahora seguimos con *Propiedades de Masa1 (Forma)*. Vamos a enlistar sus propiedades que hemos editado, y dejamos sin anotar aquellas que no requieren de edición y tengan el campo de relleno vacío. Entonces el enlistado de propiedades para la Masa1 es la siguiente:

Posición y Tamaño:

Pos X: -r

Pos Y: -s

Tamaño X: 0.25

Tamaño Y: 0.25

Aspecto Gráfico:

Estilo: RECTANGLE

Posición: SOUTH

Color Línea: BLUE

Color Relleno: WHITE

Dibujar Líneas: true

Dibujar Relleno: true

Siendo entonces, los campos no mencionados vacíos. Notamos que le damos un tamaño a la pesa o Masa1 y le damos una forma de rectángulo al escoger Estilo como RECTANGLE.

Nos queda la otra Masa2 de la Máquina de Atwood. Así las *Propiedades de Masa2 (Forma)* serán:

Posición y Tamaño:

Pos X: r

Pos Y: s-l

Tamaño X: 0.2

Tamaño Y: 0.2

Aspecto Gráfico:

Estilo: RECTANGLE

Posición: SOUTH

Color Línea: BLUE

Color Relleno: WHITE

Dibujar Líneas: true

Los datos diferentes a los de Masa 1, son su posición y su tamaño, las demás características son iguales a los de la Masa1.

En seguida tenemos a un Panel como hijo de Diagrama, con el nombre panel2, que tiene dos hijos: una etiqueta de

nombre el_tiempo y un CampoNumérico de nombre tiempo. Las propiedades de panel2 editables son

Propiedades de panel2 (Panel):

Principal:

Distribución: border

Las propiedades editadas de la etiqueta el_tiempo son:

Propiedades de el_tiempo (Etiqueta):

Principal:

Texto: “t=”

Entonces las propiedades del Campo Numérico tiempo son

Propiedades de tiempo (CampoNumerico):

Principal:

Variable: t

De esta manera hemos discutido a todos los elementos gráficos de la primera ventana que es la principal y que contiene la animación o recreación programada de la máquina de Atwood, junto con los botones de control.

Nos hacen falta realizar la construcción y edición de dos ventanas donde se grafican algunas de las variables dinámicas de la máquina de Atwood.

XI. GRÁFICAS DE VARIABLES DINÁMICAS

Para poder tener una ventana donde estarán las gráficas de varias variables dinámicas es necesario construirla, empleando a varios de los *Elementos para la vista*, que se encuentran en la columna derecha del mismo nombre para la ventana “Vista” escogida con el radio botón del mismo nombre en EJS. Como el procedimiento es el de escoger cada elemento e irlo a traer a la columna izquierda denominada *Árbol de elementos*, y es similar a lo ya antes visto en este artículo, nos limitaremos a dar la parte del Árbol ya construida para una ventana de gráficas denominada *variables_dinámicas*, esta construcción se encuentra ilustrada por la figura 16. Como se ve, la ventana *variables_dinámicas* tiene dos hijos.

El primer hijo es un *PanelConEjes*, llamado *var_dinámicas*, donde se encuentran tres *Rastros*, que representan la evolución de tres variables dinámicas de la máquina de Atwood, estos son el desplazamiento s , la velocidad v , y la aceleración a de una de la pesa Masa1.

El segundo hijo de *var_dinámicas* es un panel contenedor llamado *panel3*, y lo único que contiene son tres Etiquetas informativas, que nos indican en que color va pintada cada una de las gráficas, y tiene un valor informativo para el usuario de la aplicación.

Enlistamos entonces las propiedades editadas para la ventana de las variables dinámicas, tomando en cuenta, que algunos valores sólo son sugerencias y que se pueden cambiar según el gusto o la necesidad de los estudiantes o del profesor

variables_dinámicas:

Propiedades de *variables_dinámicas* (Ventana):

Principal:

Título: “*variables_dinámicas*”

Distribución: border

Visible: true

Posición y Tamaño:

Posición: “38,440”

Tamaño: “300,300”

Pasamos a enlistar las propiedades para el *PanelConEjes* *var_dinámicas*:

Var_dinámicas:

Propiedades de *var_dinámicas* (PanelConEjes):

Escalas:

Autoescala X: true

Autoescala Y: true

Mínimo X: 0.0

Máximo X: 1.7

Mínimo Y: 0.0

Máximo Y: $l+1.8$

Decoración:

Título: “variables dinámicas”

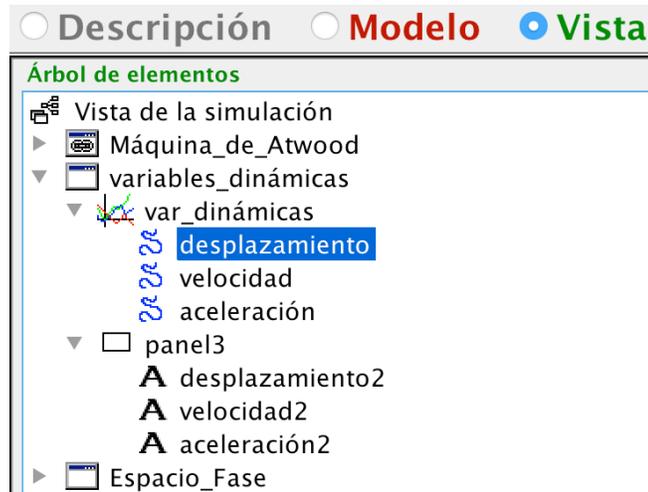


FIGURA 16. Árbol de elementos, para la Vista de la simulación mostrando la estructura de hijos que tiene la ventana *variables_dinámicas*. A cada elemento hay que editarle sus propiedades para que funcione.

Sus tres hijos (*Trazas*) que representan a tres gráficas de tres variables dinámicas llamadas *desplazamiento*, *velocidad*, *aceleración* (los nombres reflejan a la variable dinámica que se quiere graficar), quedarían con las siguientes propiedades editadas:

Desplazamiento:

Propiedades de desplazamiento (Rastro):

Entrada:

Entrada X: t

Entrada Y: s

Aspecto Gráfico:

No Repetir: true

Conectar: true

Color Línea: RED

Velocidad:

Propiedades de velocidad (Rastro):

Entrada:

Entrada X: t

Entrada Y: v

Aspecto Gráfico:

No Repetir: true

Conectar: true

Color Línea: BLUE

Aceleración:

Simulación de la máquina de Atwood para estudiantes de Física

Propiedades de aceleración (Rastro):

Entrada:

Entrada X: t

Entrada Y: a

Aspecto Gráfico:

No repetir: true

Conectar: true

Color Línea: GREEN

Luego vienen las propiedades del Panel contenedor *panel3*

Panel3:

Propiedades de panel3 (Panel):

Principal:

Distribución: border.

Con tres etiquetas hijas que son las siguientes:

Desplazamiento2:

Propiedades de desplazamiento2 (Etiqueta):

Principal:

Texto: “s->rojo”

Velocidad2:

Propiedades de velocidad2 (Etiqueta):

Principal:

Texto: “v->azul”

Aceleración2:

Propiedades de aceleración2 (Etiqueta):

Principal:

Texto: “a-> verde t-> horizontal”

Estas etiquetas muestran de que color es cada gráfica para cada variable y que el tiempo corre en el eje horizontal.

Como es fácil de observar, gracias a esta propiedades, cada gráfica esta ligada a una de tres variables dinámicas de la simulación de la máquina de Atwood: el desplazamiento s , la velocidad v , y la aceleración a , de la Masa 1.

XII. GRÁFICA DEL ESPACIO FASE

Nos faltaría describir como se construye una ventana donde esté la gráfica del espacio fase para nuestra máquina de Atwood. Como el procedimiento ya es similar al de las ventanas pasadas, nos limitamos a mostrar como está construida y que elementos gráficos tiene de acuerdo a como se puede inspeccionar de la figura 17. Como se ve hay un *PanelConEjes* y un *Panel*. El *PanelConEjes* se llama *esp_fase* y el *Panel* se llama *panel4*. Dentro de *esp_fase* esta un *Rastro* llamado *fase* y que representa la gráfica del espacio fase para la máquina de Atwood, y dentro de *panel4* esta una *Etiqueta* llamada *desplazamiento_velocidad*, que tiene carácter informativo.

Para el *PanelConEjes* *esp_fase*, se editan las siguientes propiedades:

Esp_fase:

Propiedades de *esp_fase* (PanelConEjes):

Escalas:

Autoescala X: true

Autoescala Y: true

Mínimo X: 0.0

Máximo X: $l+0.3$

Mínimo Y: 0.0

Rubén Sánchez Sánchez
Máximo Y: 6.5
Decoración:
Título: “espacio fase”

Para el Rastro *fase*, hijo del anterior elemento se tienen las siguientes propiedades:

Fase:
Propiedades de fase (Rastro):
Entrada:
Entrada X: s
Entrada Y: v
Aspecto Gráfico:
Max Puntos: 300
No Repetir: true
Conectar: true
Color Línea: MAGENTA

Como se puede ver, las variables dinámicas ligadas son el desplazamiento y la velocidad de la Masa1. Al eje horizontal se le liga con la variable dinámica del desplazamiento s , y al eje vertical se le liga con la variable dinámica de la velocidad v del primer cuerpo de Masa1.

Luego se tiene a *panel4*, con las siguientes propiedades

Panel4:
Propiedades de panel4 (Panel):
Principal:
Distribución: border

Y como hijo de éste, esta la siguiente Etiqueta llamada *desplazamiento_velocidad*, con las propiedades:

Desplazamiento_velocidad:
Propiedades de desplazamiento_velocidad (Etiqueta):
Principal:
Texto: “ $s \rightarrow$ horizontal $v \rightarrow$ vertical”

Indicando que en el eje horizontal está el desplazamiento s , y en el eje vertical está la velocidad v de la Masa1.

XIII. CORRIDA

Cada vez que queramos verificar como va progresando nuestra edición de la simulación hay que correrla. Para esto, EJS tiene una barra de herramientas lateral del lado derecho de su ventana principal de edición, en la figura 2, se puede apreciar un pequeño botón de forma de triángulo acostado de color verde, como se muestra en la figura 17.



FIGURA 17. Botón para ejecutar la simulación.

Si queremos guardar nuestro trabajo, lo “empaquetamos”, con otro botón herramienta que asemeja a una pila de hojas con un flecha como se muestra en la figura 18.



FIGURA 18. Botón para empaquetar la simulación actual.

El formato del empaquetado es un archivo tipo *jar* de Java autoejecutable. Por lo que en nuestra carpeta de trabajo *workspace*, y en la subcarpeta *export*, se hallará el archivo

jar ya guardado. Haciendo un click izquierdo con el ratón en el archivo, la simulación empezará a ejecutarse de forma automática.

Es importante para los estudiantes y para el profesor, estar chequeando el avance de la simulación. En la figura 19, mostramos una corrida de la simulación, el ejercicio debe de parecerse a esta corrida.

Como se puede apreciar hay una ventana con la máquina de Atwood en movimiento, otra ventana con variables dinámicas en evolución temporal, y otra ventana mostrando la gráfica del espacio fase para nuestra máquina de Atwood.

La corrida de la simulación puede apreciarse en la figura 19.

Es importante mencionar que durante la actividad de escritura de la simulación es posible que se emplee una metodología didáctica, para que el estudiante pueda aprovechar mejor la práctica.

Nosotros recomendamos que el profesor lleve la actividad como una *Clase Interactiva Demostrativa* al estilo que recomienda Sokoloff *et al.* [13-17]. En una primera aproximación el profesor debería guiar la parte de la edición de la simulación, y en una segunda etapa, puede realizar la corrida de la misma, pero en condiciones de control, de tal manera que produzca una actividad al estilo de las Clases demostrativas Interactivas.

XIV. CICLO PODS

El Ciclo PODS básicamente consta de cuatro etapas que se repiten de acuerdo al nivel de conocimientos que haya alcanzado el estudiante, básicamente si el estudiante tiene preparada la simulación y la va a usar para observar el comportamiento del fenómeno físico. El profesor previamente sugiere que los estudiantes formen varios equipos con 3 o 4 estudiantes cada uno. Se trata de que el número no exceda a 4 estudiantes por equipo, con la finalidad de que todo el grupo este activo. Entonces el ciclo PODS tendrá estas etapas.

1. Etapa 1 de Predecir: El profesor les pide a los estudiantes que cada uno de ellos (en forma individual), escriba en una hoja en blanco sus predicciones, y que será llamada de ahora en adelante, la hoja de predicciones.
2. Etapa 2 de Observar: El profesor le indica a un estudiante de cada equipo que corra la simulación y cada estudiante compara el comportamiento de la simulación con sus predicciones previas.
3. Etapa 3 de Discutir: El profesor guía a la clase para que en cada equipo los integrantes discutan entre sí, que ha pasado, y si hay alguna discrepancia con lo que han predicho, entonces tratan de dar una explicación más acorde con lo observado.
4. Etapa 4 de Síntesis: El profesor les dice a los estudiantes que cada equipo, dé su propia explicación del fenómeno y como funciona. De haber discrepancias entre equipos, también pide que sean discutidas. El objeto es que la clase llegue a una especie de razonamiento, y de esta forma cada estudiante construya su propio conocimiento.

El objetivo de este ciclo, es que cada estudiante este razonando y que no adquiera una actitud pasiva, sino que por el contrario, tenga en mente que las explicaciones de la naturaleza no son precisamente trabajo de sabios o científicos profesionales, y que la gente común puede

opinar y establecer una explicación lo suficientemente buena y aproximada a los fenómenos observados.

Sin una práctica real el método tiene las desventajas de que el estudiante no maneja el experimento en real, pero tiene la ventaja de que puede reproducir la simulación y controlarla. Además de que puede ser mucho más económico correr una simulación, que tratar de reproducir un experimento real con equipo de laboratorio caro. Así que, económicamente la simulación puede ser un medio, muy conveniente para escuelas que no tengan muchos recursos.

XV. CONCLUSIONES

En este artículo hemos mostrado la manera de utilizar el programa editor de simulaciones de Esquembre, y hemos

Simulación de la máquina de Atwood para estudiantes de Física aconsejado al lector que, si va a dar una clase de Física, donde se aborde el tema de la máquina de Atwood, puede utilizar el material que se encuentra en este trabajo de guía, para su clase. El estudiante seguramente apreciará el uso de herramientas de software como apoyo a su clase de Física. Además se le sugiere que lleve la Clase de acuerdo al Modelo de una Clase Interactiva Demostrativa (Sokoloff *et al.*), empleando el ciclo PODS. Esto esperamos que haga a su clase bastante interesante y dinámica, además de provechosa para sus estudiantes. El empleo del ciclo PODS junto con el material didáctico aquí mostrado, puede facilitar las actividades de la clase de Física, al menos para este tema de la Máquina de Atwood.

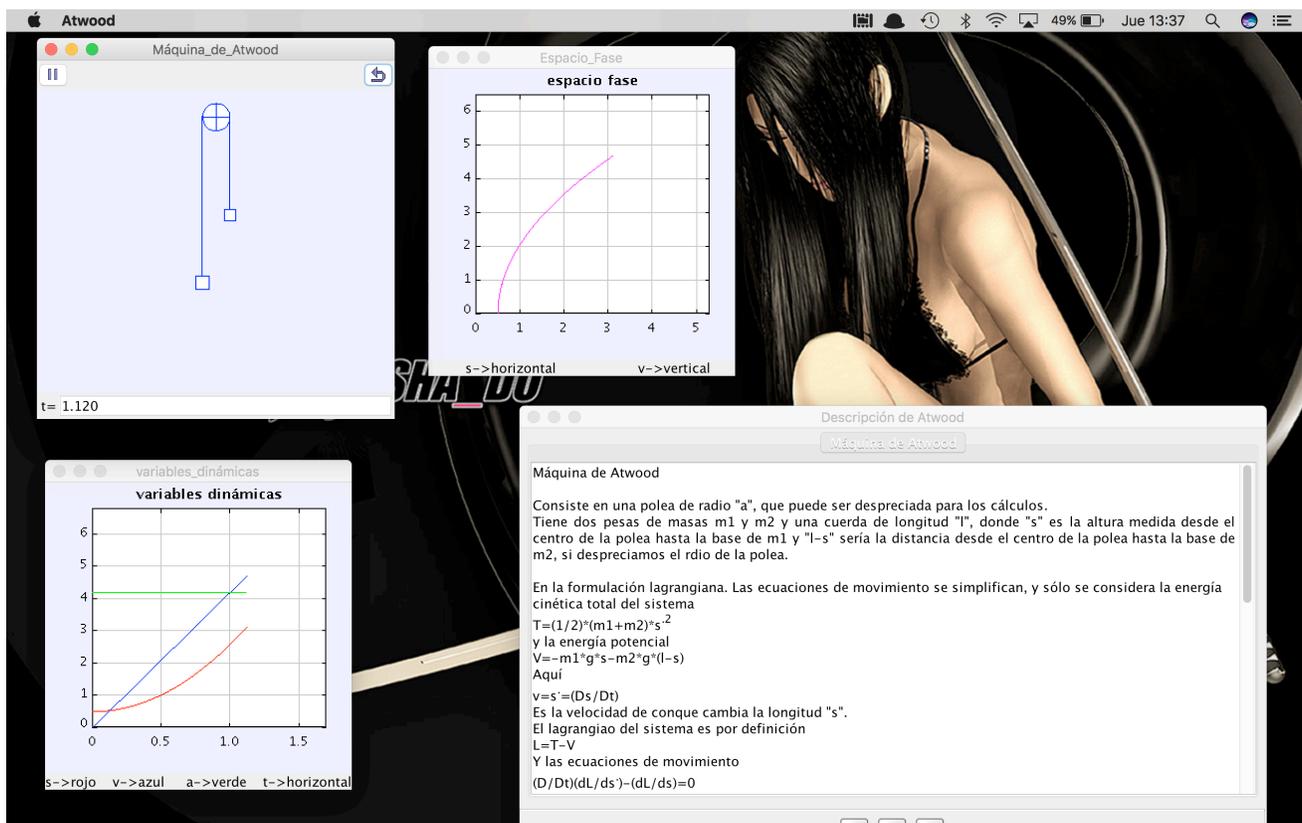


FIGURA 19. Corrida de la simulación para la máquina de Atwood

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer a la ayuda dada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México, y al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del mismo CONACYT, y a la COFAA del Instituto Politécnico Nacional en la Ciudad de México. Apoyos gracias a los cuales este trabajo fue posible de realizar con éxito. También quiere agradecer al proyecto de la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) del Instituto Politécnico Nacional no. 20161695 de título *Uso de prototipos experimentales para la enseñanza del movimiento rotacional en ingeniería – Diseño del test de evaluación.*

Proyecto que estuvo apoyando al autor, para la correcta realización del presente trabajo en la educación de la Física.

REFERENCIAS

- [1] Esquembre, F., *Creación de Simulaciones Interactivas en Java. Aplicación a la Enseñanza de la Física.* (Pearson Prentice Hall, Madrid, 2005).
- [2] Esquembre, F., <<http://fem.um.es/Ejs/>>, Consultado el 02 de Mayo de 2016.
- [3] Goldstein, H., *Classical Mechanics*, 2a Ed. (Addison-Wesley, New York, 1980).
- [4] Esquembre, F.,

Rubén Sánchez Sánchez

<<http://www.um.es/fem/EjsWiki/Manual/060201EjMetodoDelPuntoMedio>>, Consultado el 03 de Mayo de 2016.

[5] Bates, B., Sierra, K., *Head First Java*, 2a Ed. (O'Reilly & Associates Inc, California, USA, 2009).

[6] Niemeyer, P., Leuck, D., *Learning Java*, 4a Ed. (O'Reilly Media, 2013).

[7] Wadler, P., Naftalin, M., *Java Generics and Collections*, 1ª Ed., (O'Reilly & Associates Inc, California, USA, 2009).

[8] Rusty, E., *Java I/O*, 2ª Ed. (O'Reilly & Associates Inc, California, USA, 2010).

[9] Flanagan, D., *Java in a Nutshell, A Desktop Quick Reference*, 5ª Ed. (O'Reilly Media, USA, 2015).

[10] Flanagan, D., *Java Examples in a Nutshell, A tutorial Companion to Java in a Nutshell*, (O'Reilly & Associates Inc, Massachusetts, USA, 2004).

[11] Eubanks, B. D., *Wicked Cool Java*, (No Starch Press, San Francisco, 2005).

[12] Freeman, Eric, Freeman, Elisabeth, Sierra, K., Bates, B., *Head First Design Patterns*, (O'Reilly & Associates Inc, California, USA, 2004).

[13] Sokoloff, D. R., Thornton, R. K., *Interactive Lecture Demonstrations, Active Learning in Introductory Physics, The Physics Suite*, 1ª Ed. (John Wiley & Sons, Inc., USA, 2006)

[14] Sokoloff, D. R., Thornton, R. K., Laws, P. W., *Realtime Physics Active Learning Laboratories, Module 1: Mechanics*, 3ª Ed. (John Wiley & Sons, Inc., USA, 2011).

[15] Sokoloff, D. R., Sokoloff, D., *Realtime Physics Active Learning Laboratories, Module 2: Heat and Thermodynamics*, 2ª Ed., (John Wiley & Sons, Inc., USA, 2011).

[16] Sokoloff, D. R., Laws, P. W., Thornton, R. K., *Realtime Physics Active Learning Laboratories, Module 3: Electric Circuits*, (John Wiley & Sons, Inc., USA, 2012).

[17] Sokoloff, D. R., Laws, P. W., Thornton, R. K., *Realtime Physics Active Learning Laboratories, Module 4: Light and Optics*, (John Wiley & Sons, Inc., USA, 2012)

Learning about light properties using a system for optical signal processing



G. Ramírez-Flores¹, A. Rodríguez¹, S. Guel¹, P. Suárez-Rodríguez^{2,3},
L. M. Torres-Luna⁴

¹Instituto de Investigación en Comunicación Óptica IICO, UASLP. Av. Karakorum 1470, Lomas 4ta Secc, C. P. 78210, San Luis Potosí, S. L. P., México.

²Coordinación Académica Región Huasteca Sur, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Km 5 Carretera Tamazunchale San Martín, C. P. 96960, Tamazunchale, S. L. P., México.

³Escuela Normal de Estudios Superiores Plantel 5, La Cuchilla, C. P. 96960, Tamazunchale, S. L. P., México.

⁴Facultad de Ciencias Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Lateral Av. Salvador Nava s/n. CP 78290, Col. Lomas, San Luis Potosí, México.

E-mail: gramirez@cactus.iico.uaslp.mx

(Received el 23 May, 2015, accepted 15 March 2016)

Abstract

To learn and manipulate the wave nature of light, for purpose of teaching, we designed and set up an optical communication system using low cost laser diodes and multiplexing holograms. Making use of the wave nature of light, different kind of information could be send using different wavelengths appropriated to perform a multiplexing effect. By making several beams of light, each modulated in amplitude by dissimilar analogical or digital signals, to impinge simultaneously on a holographic grid, which send the beams thorough some kind of waveguide that can be an optical fiber. At the output where information was received, a similar grid was used to separate the different information carriers, each being addressed towards different corresponding photo detectors for demodulating the desired information. Modulation of laser light was realized by standard simple electrical circuits, which bring out different kind of information. For example, audio signals, radio transmitters, cell phones, portative sound reproducers. In addition, by simple standard circuits for the photo detectors we could convert intensity light variations into electrical signal differences, for each wavelength, which lead to the final information retrieval using optical corresponding transducers, as loudspeakers, which is the final stage for the information originally sent throughout optical signal variations. The proposed method was tested with a 17 students with favorable results, encouraging the authors for designing new experiments with the same idea of making a more dynamical active learning to help the students to develop new skills and more effective training in optical engineering and applications.

Keywords: Optical communication, Nature wave of light, Laser.

Abstract

Con propósito de enseñanza, hemos diseñado y creado un sistema de comunicación óptica, utilizando diodos láser de bajo coste y hologramas de multiplexación, para aprender y manipular la naturaleza ondulatoria de la luz. Haciendo uso de la naturaleza ondulatoria de la luz, diferentes tipos de información se podrían enviar usando diferentes longitudes de onda apropiada para realizar un efecto de multiplexación. Al hacer varios haces de luz, cada uno modulado en amplitud por señales analógicas o digitales diferentes, que inciden simultáneamente sobre una rejilla holográfica, que envían las haces mediante algún tipo de guía de ondas que puede ser una fibra óptica. En la salida donde se recibió información, una rejilla similar se utilizó para separar los diferentes soportes de información, cada uno dirigido hacia diferentes fotodetectores correspondientes a la demodulación de la información deseada. La modulación de la luz láser se realizó por medio de circuitos eléctricos simples estándar que llevan a cabo diferentes tipos de información; por ejemplo: señales de audio, transmisores de radio, teléfonos celulares, reproductores portátiles de sonido. Además, con circuitos estándar simples para los fotodetectores, podríamos convertir las variaciones de intensidad de luz en diferencias de señal eléctrica, para cada longitud de onda, que conduzcan a la recuperación de la información final, utilizando los transductores correspondientes, como altavoces. Esa es la etapa final de la información enviada originalmente, a través de variaciones de la señal óptica. El método propuesto se probó con unos diecisiete estudiantes, con resultados favorables. Esto animó a los autores al diseño de nuevos experimentos, con la misma idea de hacer un aprendizaje activo más dinámico, para ayudar a los estudiantes a desarrollar nuevas habilidades y una formación más eficaz en la ingeniería óptica y aplicaciones.

Palabras clave: Comunicación óptica, Naturaleza ondulatoria de la luz, Láser.

PACS: 01.40.-d, 01.40.gb 42.40.Eq, 42.79.Sz, 42.79.Ta

ISSN 1870-9095

I. APPARATUS DESIGN

Compared with existing techniques for electronic methods [1], multiplexing and de-multiplexing by wavelength division, using holograms allows transmitting a bigger volume of information with more speed.

An optical communications system consists of three blocks as shown schematically in figure 1. The transmitting section involves the multiplexing, the middle section corresponds to the transmitting medium and the reception section is where de-multiplexing takes place.

Multiplexing consists in making those different wavelength λ_j laser beams, each modulated by different analogical or digital signals, to coincide on the hologram. The function of the hologram is to superpose the incident wavelengths all coupled simultaneously thorough the optical fiber for sending all the information together.

In receptive section, an identical hologram to the one used for multiplexing splits (de-multiplexes) the different λ_j which carry the information and make them to inside on corresponding photo-detectors thus allowing to decode the information in each channel.

With the purpose of illustrating the use of the wave properties of light to transmit simultaneous information, using different wave lengths; we created special holograms, that bears optical multiplex, de-multiplex properties. The design, fabrication, testing, correction and adjusting of the components in such system, open up the understanding of the properties of light, its interaction with materials in search of new applications.

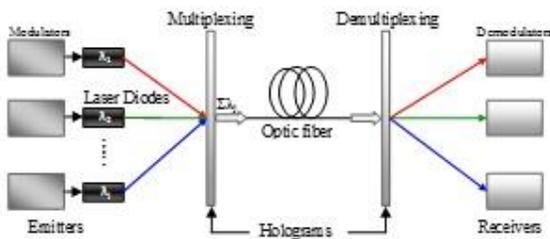


FIGURE 1. Block diagram of a optical communication system.

II. THEORY

According to the holographic principles [2], to record a hologram, as in figure 2.a), two coherent beams –which come from the same source, with wavelength λ_r – are needed.

These two beams are known as: object beam E_o and reference beam E_r .

If the object is in direction normal to the hologram plane and the reference beam makes an angle Θ_r with the normal to the hologram plane, the information coming from the object beam is stored in the interference pattern of both beams: the hologram of the object. When the hologram is illuminated with the same reference beam, as in figure 2.b), by diffraction several beams come out, among them a normal beam to the

hologram plane, as it was the continuation of the original beam used when the hologram was recorded. See Figure 3.

If in the supposition above two plane waves are used as object and reference beams, the interference pattern consists of parallel fringes with separation $\frac{\lambda_r}{\sin \theta_r}$, as it is shown in Figure 3.

The same pattern of fringes can be obtained using different wavelengths at different angles, according to the following relation:

$$\frac{\lambda_j}{\sin \theta_j} = \frac{\lambda_r}{\sin \theta_r} \quad (1)$$

Where λ_j is the new wavelength, and Θ_j the corresponding angle.

This means that, if after the hologram is processed, we make to impinge simultaneously on the hologram, different reference beams λ_j , at reference angles Θ_j , according to (1): on the back of the hologram, transposed object beams of different colors appear in direction normal to the hologram plane. Letting in this way the optical multiplexing of the wavelengths λ_r ; each one of them carrying different signals information.

Based in the principle of reversibility of light we can separate the multiplexed beams with the aid of a second hologram identical to the first, which works as a de-multiplexing of signals. See figure 4.

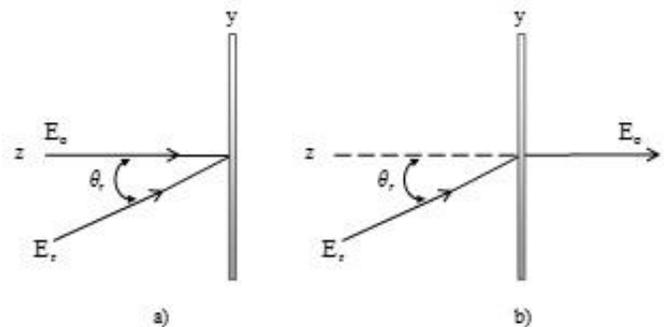


FIGURE 2. a) Formation of a hologram. b) Reconstruction of a hologram.

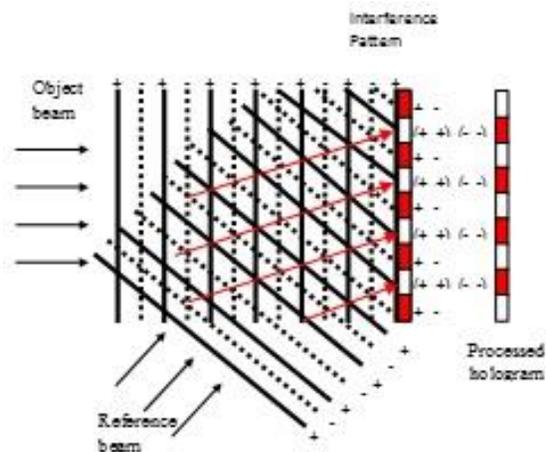


FIGURE 3. Obtained interference fringes when two plane waves interfere and fringe inversion when hologram is processed.

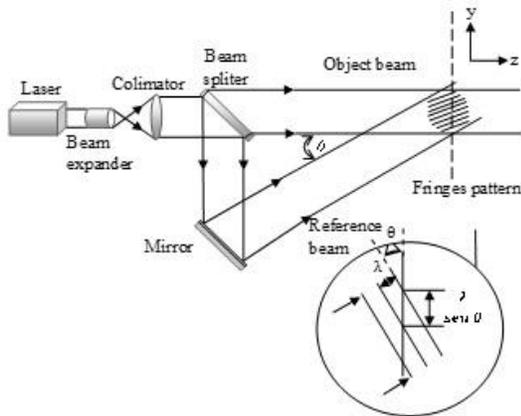


FIGURE 4. Recording of a hologram with two plane waves. If we vary the angle of the reference beam, we can vary the spatial frequency of the recorded fringes.



FIGURE 5. Experimental set up for the recording of the multiplexing holograms used in this work.

III. EXPERIMENT

With the purpose of validating our method, we fabricated several multiplexing de-multiplexing holograms according to Equation (1). For that, we used commercial transmission holograms plates, with a very simple optical array, whose picture is shown in Figure 5, and shown schematically in Figure 2.

For hologram fabrication an Ar-ion laser of $\lambda_r=514$ nm was used with an angle between beams. For multiplexing purposes, diode lasers of very low cost were used of wavelengths $\lambda_r=405$, 535, and 650 nm, that correspond to blue, green and red colors respectively.

Each diode laser was modulated with the aid of audio signals generators, electronic circuits [3] or another kind of sound sources as radio satations or cell phones, etc., in such a

Learning about light properties using a system for optical signal processing way that variations in audio sound intensity were distorted into variations of light intensity.

After that, with the aid of a multiplexing hologram, beams were superposed and sent all together, as a whole beam towards a second multiplexing hologram similar to the first; where each wavelength is separated accordingly, and directed towards photoreceptors, changing now light variations into electrical signal variations. These variations, properly processing with the aid of transducers as loudspeakers etc., are converted into the original sound signals with their respective information. So, sound information is processed with the support of optical signals resources variations. This is shown schematically in Figure 4.

IV. EDUCATIONAL RESEARCH

Many teachers, today want to move past passive learning to active learning, to find better ways of engaging students in the learning process. Investigations of student difficulties with physics are growing in number and in sophistication; researchers gain deeper insight into students understanding of the material taught in and outside classroom. That is why as teachers have to find ways for students to engage in authentic leaning activities and confront students with their own learning (metacognition).

In this work, we present one experimental activity for involve students in technology environment and project work.

Students need opportunities to explore the significance of science in their lives, especially when they use tech every day.

We should encourage the natural curiosity of students and helping them to research using hands on approach and explore topics in depth, not skim many superficially [4].

Before students can really learn new scientific concepts, they often need to re-conceptualize deeply rooted misconceptions, which interfere with the learning. That is why becomes important to explore conceptions and try to change it, but above all students need to be aware of it.

Students has at least two different conceptual models for the nature and behavior of light [5]. It is impossible to construct a coherent model for the treatment of light as a wave, without being able to both to distinguish and to relate certain basic ideas (e.g. Wavelength, path length, path length difference and phase difference) [6].

We want to explore if students could identify this concepts in a communication system, and if they could identify wave or particle behavior of light.

A. Instructional context

The educational learning activities was developed looking the students' performance in optics fundamental conceptions.

The primary objective was that students identify the physical phenomena related to geometrical optics and physical optics reviewed in the course, and consider the importance of optical engineering applications.

We work with seventeen engineering students from Figure

6. Multiplexing and de-multiplexing of several wavelengths, using the light reversibility principle with holograms. Each diode laser was modulated with the aid of audio signals generators, electronic circuits [3], or another kind of sound sources –as radio stations or cell phones, etc.–, in such a way that variations in audio sound intensity were distorted into variations of light intensity.

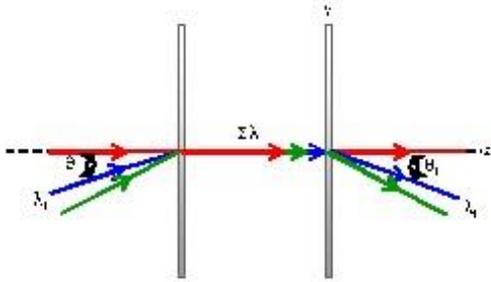


FIGURE 6. Multiplexing and de-multiplexing of several wavelengths, using the light reversibility principle with holograms.

After that with first year with a mean age of 17.8 years, who have been enrolled in a previous course in calculus-based physics (kinematics and dynamics), and basic knowledge about electronics.

For known their conceptions we ask them about light, light ray, particle, reflection, refraction, mirror, lens, diffraction, dispersion, diffraction pattern, image, mirror, hologram, phase, wave length, frequency. Also, they had to research about: communications system function, signal, and transmission, definition and electronic devices uses and function. They form four teams and show each other their results; also they received a basic instruction related to build electronic circuits and use of the ammeter.

We present the diagram Block shown in Figure 1, and they had to identify how light travels, and which optical phenomenon and concepts was involved; they had to draw ray paths. The same was with the Figure 3, 5 and 6.

V. RESULTS

The students developed communication skills and assembling electronic circuits and their functions.

They are already familiar with the idea that light from and object travel outward in all directions in straight lines. Reflected light can be refracted and an object is visible because it reflects light. The path of light can be changed, they draw ray diagrams correctly, light could have a wave and a particle behavior, and they have good manage, and they explain in their own words the meaning of fundamental concepts. However, when they have to identify in the system which behavior present the light, they had problems for give any answer.

In Figure 1, they don't have problems to identify phenomenon involved, and calculate the angle in both cases.

In Figure 3 at first, any student drawn the right answer, they do not understand how hologram was build and how

images could be “store” in plastic thin. They recognize after test and teacher intervention, they know phase definition but they do not really understand how was related with hologram image. They know the relationship between color and wave length, and some of them mention about intensity is related with the number of emitted photon. With this answer they associate different light behavior, they explain also light when come from laser is a particle and light when comes true hologram converts to a wave.

VI. CONCLUSIONS

Making use of the wave nature of light, different kind of information could be send using different wavelengths λ_j , appropriated to perform a multiplexing effect. By making several beams of light, each modulated in amplitude by dissimilar analogical or digital signals, to impinge simultaneously on an holographic grid, which send the beams thorough some kind of waveguide that can be an optical fiber. At the output where information was received, a similar grid was used to separate the different information carriers λ_i , each being addressed towards different corresponding photo detectors for demodulating the desired information.

We fabricated holograms for optical multiplex/demultiplex, using coherent light beams of wavelength $\lambda_r = \frac{\sin \theta_r}{\sigma_r}$ nm, where:

θ_r was the angle between the beams. λ_r is the wavelength of light, and σ_r the spatial frequency of the fringe pattern formed by. For experimentally carry out such purpose, with the aid of holographic plates for transmission the beams.

Modulation of laser light was realized by standard simple electrical circuits which bring out different kind of information for example: audio signals, radio transmitters, cell phones, portative sound reproducers. Also by simple standard circuits for the photo detectors we could convert intensity light variations into electrical signal differences, for each wavelength, which lead to the final information retrieval using corresponding transducers, as loudspeakers, which is the final stage for the information originally sent throughout optical signal variations.

The students were really excited about the experimental work, and they were motivated to build their own holograms and communication systems.

They now recognize how important is known about conceptual and basic science for development technology, and they changed their conceptions about physics.

We identify students had specific misconceptions about light concepts.

REFERENCES

- [1] Couch, L. W., *Digital and analog communication system*, (Prentice Hall, New Jersey, 2001).

- [2] Welford, W. T., *Optics*, 2nd Ed., (Oxford University Press, Oxford, 1981).
- [3] Torres Luna, L. M., *Multiplexado de señales ópticas por rejillas holográficas para comunicación óptica*, Tesis de Maestría en proceso, IICO-Facultad de Ciencias, UASLP. San Luis Potosí, México (2011).
- [4] Bransford, A. L. & Rodnay, C., Effective Teaching examples in Mathematics and Science, In: *How people Learn: Brain, mind, experience, and school*, (National Academy Press, Washington, 2010). Consultado en: <http://drjj.uitm.edu.my>.
- [5] Perales, F. J. & Nievas, F., *Teaching geometric optics: Research, results and educational implications*, (Taylor & Francis Group, Abingdon, 1995).
- [6] Ambrose, B. S., Shaffer, P. S., Steinberg R. N. and Mcdermont, L., *An investigation of student understanding of single slit diffraction and double slit interference*, *Am. J. Phys.* **67**, 146-155 (1999).

Aplicación de los Principios Pedagógicos Pragmáticos a un curso introductorio de física



Jorge Barojas Weber¹, Antonio Lara-Barragán Gómez^{2,3},
Guillermo Cerpa Cortés³

¹Centro Virtual de Investigaciones y Desarrollos en Educación (CVIDE), Ciudad de México.

²Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana Campus Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

³Departamento de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.

E-mail: jrbw40@gmail.com

(Recibido el 10 de Octubre de 2015, aceptado el 15 de Abril de 2016)

Abstract

An application of four Pragmatic Pedagogical Principles to an introductory physics course is presented. This course is intended to freshmen majoring in engineering. In the first part, we describe the Pedagogical Pragmatic Principles (or just the Principles) and the theoretical frame supporting them. The research methodology is then described as consisting of a quasi-experimental model. On the other hand, the operational criteria by which the Principles are set into work make knowledge accessible, thinking visible and learning be continuous and shared if they are fully complied. Evaluation of enforcement of the criteria is made through evaluation of students' activities such as designing and performing an experiment or smart usage of web sites and/or blogs. Students' performance is reported in terms of Hake's factor using results of periodical tests and a continuous evaluation system. We finally present results by which control and experimental groups are compared. Control groups received traditional instruction while experimental groups received instruction based on the Principles. We found that experimental groups showed better academic performance in understanding contents and in better grades. On the contrary, we observed that control groups were getting lower grades at every periodical evaluation along the semester. These results suggest that—in the case of this particular introductory course—the application of the Principles and corresponding operational criteria enhance and foster learning.

Palabras clave: Educación universitaria, Enseñanza de la Física, Principios Pedagógicos Pragmáticos.

Se presenta una aplicación de cuatro Principios Pedagógicos Pragmáticos a un curso de Física para estudiantes de primer ingreso en carreras de ingeniería. En la primera parte, se describen los Principios y su fundamento teórico, para luego explicar la metodología de indagación, que consiste en la aplicación de un modelo cuasi experimental. El cumplimiento de los criterios operativos por medio de los cuales se llevan a la práctica los Principios implica que el pensamiento sea visible, el conocimiento sea accesible y el aprendizaje sea mutuo y continuo. El seguimiento a la aplicación de estos criterios operativos se realiza mediante la evaluación de actividades en las que participan los estudiantes, desde el desarrollo de una demostración experimental, hasta la utilización de recursos electrónicos como páginas web y blogs. El aprovechamiento de los estudiantes se reporta por medio de la ganancia normalizada (o factor de Hake) y se toman en cuenta los resultados de exámenes periódicos, así como un sistema de evaluación continua. Finalmente, se presentan los resultados comparativos entre grupos experimentales—donde se aplicaron los criterios operativos que caracterizan a los Principios—y grupos de control—que recibieron una instrucción tradicional. Reportamos que los grupos experimentales mostraron un mejor aprovechamiento en cuanto a la comprensión de la asignatura y un mejor rendimiento académico en cuanto a la eficiencia de los estudiantes. Por el contrario, observamos que en cada periodo de evaluación en los grupos de control el aprovechamiento y el rendimiento académico eran menores que en los grupos experimentales y que además, tanto el aprovechamiento como el rendimiento de los grupos de control disminuyeron a lo largo del semestre. Estos resultados sugieren que, para el curso en cuestión, la aplicación de los criterios operativos de los correspondientes Principios genera una mejora continua de los aprendizajes.

Keywords: Higher education, Operational physics teaching, Pragmatic pedagogical principles.

PACS: 01.40.-d, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Las nuevas generaciones de estudiantes presentan características de actitud y comportamiento completamente

diferentes a las de generaciones anteriores. Para los profesores universitarios con más de diez años de experiencia, resulta evidente en sí mismo que, los estudiantes de nuevo ingreso a la universidad hace diez años, fueron diferentes a las generaciones de hace tres o cuatro años; y a

su vez, éstas lo han sido de las que recientemente ingresaron al nivel superior. Estas diferencias no son privativas de nuestro medio, sino que se manifiesta como un fenómeno mundial, lo que dio lugar a una nueva denominación para las generaciones de estudiantes actuales, la Generación Net (Net Gen) o del Milenio [1].

Es también evidente que la Net Gen presenta problemas académicos serios tanto para ellas mismas como para el personal docente y administrativo que se encuentra a su cargo. Por ejemplo, en los dos últimos años, en carreras de ingeniería, en la asignatura Introducción a la Física, impartida en la Universidad de Guadalajara por dos de los autores de este artículo, se han registrado altos índices de reprobación, 85% en promedio. En pláticas informales con profesores de otras asignaturas se asegura una situación similar [2].

Aunado a esto, las actitudes del estudiante promedio representan también un reto, pues sigue vigente el afán de obtener la máxima calificación con el mínimo –o nulo– esfuerzo, prestan poca atención en clase y constantemente expresan la urgencia –a veces rayana en compulsión– de utilizar el teléfono celular y la conexión a la Internet para acceder a las redes sociales.

Hemos podido constatar [2] los estudiantes de primer ingreso a la universidad utilizan mucho de su tiempo libre en el uso de la tecnología, esencialmente para juegos electrónicos, teléfono celular (el estudiante promedio consulta su teléfono celular cada 11 minutos para verificar los mensajes en sus redes sociales), iPods, tabletas y, en menor grado, la televisión.

Asimismo, se evidencia que en nuestras instituciones de educación superior no se ha tratado, con la prudencia y la eficiencia adecuadas, el tema de la tecnología y su influencia en el comportamiento y actitudes de los estudiantes y profesores.

Por otro lado, la práctica docente muestra un rezago importante ante la problemática esbozada. Pareciera que la clase de exposición es el único procedimiento didáctico, y que la pretendida introducción de recursos modernos e innovadores, como las presentaciones de temas en Power Point, se reduce a sustituir el pizarrón por el cañón y la pantalla, con lo que la clase se desarrolla, ahora, con las características de una conferencia magistral. Asimismo, los cambios curriculares que se han dado en nuestras universidades, en los que se ha migrado al modelo de curriculum flexible por competencias, solamente se cumplen en el discurso, pues la práctica docente continúa con las mismas características de la clase tradicional.

Además de lo antes expuesto, la gran mayoría de nuestros cursos se caracterizan por su falta de motivación, planeación obsoleta y deficiente evaluación. Es por ello que en este trabajo presentamos un caso concreto en donde hemos podido mejorar estos tres factores, mediante la aplicación de un instrumento de evaluación formativa como parte de un proceso de instrucción diseñado para motivar mejor a los estudiantes y precisar la evolución en sus aprendizajes en un curso introductorio de Física en el primer semestre en carreras de ingeniería.

El instrumento fue diseñado, aplicado y analizado para detectar en qué medida las actividades de los estudiantes y de los profesores cumplen los criterios operativos por medio de los cuales se satisfacen cuatro Principios Pedagógicos Pragmáticos, analizados y aplicados por Linn y Hsi [3].

Estos Principios se refieren a lo siguiente: que el pensamiento sea visible, el conocimiento sea accesible y el aprendizaje sea mutuo y continuo.

El plan de este artículo es el siguiente:

Primero, en la sección II, comentamos acerca de la aplicación de una estrategia de Renovación de la Enseñanza Universitaria Basada en Evidencias (REUBE) [4] y la conveniencia de utilizar como instrumento de evaluación formativa a los criterios operativos correspondientes a los Principios Pedagógicos Pragmáticos, mencionados con anterioridad.

En la sección III, consideramos las características de la población y del curso impartido, así como la metodología seguida en la investigación.

En la sección IV, tratamos de las actividades que sirvieron para implementar los criterios operativos correspondientes a los Principios.

Y finalmente, en la sección V, presentamos los principales resultados y algunas de sus implicaciones.

II. LA EVALUACIÓN Y LOS PRINCIPIOS PEDAGÓGICOS PRAGMÁTICOS

La evaluación en cuestiones relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje suele clasificarse en diagnóstica para describir una situación inicial, formativa para determinar el nivel y alcance de los aprendizajes, y sumativa para apreciar resultados y/o productos.

El propósito de toda evaluación es adquirir información de la cual se deriven conocimientos, para mejorar el desempeño de una persona, grupo u organización.

Generalmente, para evaluar se aplican pruebas que consisten, por ejemplo, en ensayos, problemas, cuestionarios, baterías de preguntas de opción múltiple.

La realidad es que los usos y abusos de diferentes formas y propósitos de evaluar, con frecuencia se concretan en reportes de números que señalan calificaciones y otros datos de naturaleza estadística como promedios, desviaciones, tendencias, correlaciones.

Inclusive, se insiste que si en una investigación no se reportan resultados numéricos, es pura demagogia si se trata de una investigación educativa o pura especulación si se refiere a un trabajo de corte científico o técnico en el que no están presentes las ecuaciones, las mediciones, las tablas y las gráficas; ahora podríamos incluir además los resultados de las simulaciones computacionales.

Diseñar y desarrollar cualquier proceso educativo requiere forzosamente interpretar las evaluaciones que se hagan a lo largo de sus correspondientes etapas y circunstancias. Este es un requisito escolar insoslayable cuando se imparten cursos, durante el proceso y al final del mismo.

El gran reto es cómo hacerlo de una manera que sea válida, práctica, útil y significativa; especialmente que sirva para mejorar tanto a estudiantes como a profesores: saber en dónde estamos, qué hemos avanzado y qué nos falta por recorrer en el camino de la enseñanza y del aprendizaje.

Aunque existe una muy abundante bibliografía acerca del tema de la evaluación, aquí sólo vamos a señalar el número especial dedicado a la evaluación de la Revista Perfiles Educativos [5]. Sin embargo, a continuación y como elemento de motivación y de comparación con nuestro trabajo, consideraremos la aplicación de la estrategia REUBE [4].

Un grupo de profesores de la Universidad de los Andes reporta en dicho artículo los resultados de aplicar una estrategia de acompañamiento e innovación pedagógica en un curso de Física del tercer semestre de las carreras de Ciencias e Ingeniería.

Este programa de investigación- acción sobre la docencia universitaria consistió en el acompañamiento pedagógico y de reflexión acerca de la práctica docente y comprendió el registro, seguimiento y análisis de una serie de pruebas múltiples para registrar evidencias de deficiencias en los aprendizajes de los estudiantes.

Para obtener evidencias, los autores del trabajo antes mencionado utilizaron tres tipos de instrumentos: redes de análisis (de textos y de observaciones de clase), cuestionarios abiertos y semiabiertos (a los estudiantes) y entrevistas semiestructuradas a los estudiantes y a los docentes (profesores y docentes asistentes).

Esta información les condujo a crear espacios de comunicación y diálogo y les permitió generar una lista preliminar de limitantes estructurales que deberán abordarse para plantear una nueva metodología, con el fin de mejorar e inclusive innovar el proceso de enseñanza-aprendizaje. La Tabla 1 siguiente reproduce el Cuadro 1 en que se clasifican y reportan las dieciséis evidencias encontradas.

Cada una de las dieciséis evidencias presentadas en la tabla anterior proporciona elementos que pueden servir para una evaluación, tanto del rendimiento académico de los estudiantes como del desempeño didáctico de los profesores, así como de otros factores tales como la idoneidad del material didáctico, la pertinencia del programa de estudios o los requerimientos institucionales para el ingreso, permanencia y titulación de los estudiantes.

Tal no fue el propósito de la investigación considerada, pues en ella se exploraron con mucho cuidado y detalle las condiciones de operación de un curso de física, con el propósito de registrar evidencias de deficiencias en los aprendizajes de los estudiantes.

Sin embargo, dicho trabajo nos ha servido como antecedente para considerar la cuestión de qué, cómo y para qué evaluar un curso de Física.

Para evaluar se necesitan definir índices o indicadores que tengan validez y pertinencia; evitar además que luego se presenten conclusiones superfluas que sólo se utilicen para llenar formatos, completar reportes o engrosar archivos.

Al respecto, Edvinsson y Malone [6] consideran que en la lista de actividades financieras de la empresa Skandia, se presentan cuatro tipos o categorías de indicadores:

- Las medidas acumulativas que sirven para detectar puntos de inflexión o de cambio en las curvas que representan los ciclos de vida de las organizaciones.
- Las medidas competitivas que son referencias acerca del desempeño de la organización.
- Las medidas comparativas que dan información acerca de la dinámica de la organización.
- Las medidas combinadas a partir de las cuales se obtienen nuevas perspectivas acerca del futuro de la organización.

Nuestro interés es el de poder especificar qué indicadores hemos utilizado en nuestra evaluación formativa del curso de física que reportamos.

TABLA I. Evidencias para la renovación docente reportadas en la aplicación de la estrategia REUBE.

Tipo	Evidencia
Evidencias sobre la actuación de los discentes	#1: no hay pre-lectura #2: poco trabajo entre clase y clase #7: hábitos de estudio irregulares a lo largo del semestre #9: deficiente repaso para el examen final #13: opiniones de los estudiantes #15: deficiente manejo de lenguajes no algorítmicos
Evidencias sobre la actuación de los docentes	#3: descoordinación teoría-problemas #4: uso en exclusividad de las clases magistrales #5: demostraciones en el aula poco aprovechadas #6: problemas rutinarios, descoordinados, poco conceptuales #8: ausencia de retroalimentación en los exámenes, y de modelos de examen #14: opiniones de los docentes asistentes
Evidencias que afectan el ámbito departamental o institucional	#10: poco aprovechamiento de los recursos de comunicación virtual #11: contenidos demasiado extensos #12: libro de texto poco adecuado #16: poca relación con los intereses de los alumnos

Fuente: Becerra Labra *et al.* [4] (Cuadro 1, página 92).

El criterio que nos ha orientado en nuestra investigación es precisar qué elementos de evaluación formativa nos permiten determinar en qué medida se dan las condiciones de operación de una comunidad de aprendizaje en cuatro grupos escolares en donde dos profesores imparten el mismo contenido.

Los indicadores correspondientes en dicha evaluación serán los criterios operativos con que se satisfacen los cuatro Principios ya mencionados.

Para analizar si dichos indicadores pertenecen a las categorías descritas por Edvinsson y Malone [6], habremos de partir primero de la siguiente definición de lo que consideramos es una Comunidad de Aprendizaje (CA):

Todo grupo humano que interacciona de manera integrada y consistente para satisfacer cuatro propósitos [7]: permanecer informado, organizar comunicaciones, obtener, aplicar y generar conocimientos, así como realizar actividades de transformación que produzcan aprendizajes significativos que sirvan para cumplir con metas definidas.

TABLA II. Principios pedagógicos pragmáticos (P), sus criterios operativos (Co) y Actividades (A).

CRITERIOS OPERATIVOS (Co)	ACTIVIDADES (A)
P1: Hacer accesible el conocimiento para todos	
Co1. Estimular la construcción de conocimientos a partir de ideas propias y desarrollar opiniones poderosas y prácticas.	A1: Desarrollo de conceptos a partir de evidencias experimentales propuestas por los mismos estudiantes.
Co2. Ayudar en la investigación personal de problemas relevantes y revisar con regularidad sus conocimientos.	A2: Tareas semanales de problemas progresivamente más complejos y retroalimentación.
Co3. Apoyar la participación en procesos de indagación e investigación para enriquecer los conocimientos.	A3a: Visita a páginas web especializadas en temas relevantes para el curso. A3b: Realización de experimentos–demostraciones–sencillos.
Co4. Fomentar la comunicación para compartir con los demás el conocimiento especializado.	A4: Presentación breve de resultados de A3a o A3b
P2: Hacer visible el pensamiento entre todos	
Co5. Modelar la construcción del conocimiento para manejar explicaciones alternativas y diagnosticar errores.	A5: Taller de solución de problemas y análisis de situaciones (casos).
Co6. Apoyar la explicación de las ideas de otros.	A6: Actividad de <i>estudiantes monitores</i> en los talleres de solución de problemas.
Co7. Proporcionar múltiples representaciones visuales utilizando diversos medios.	A7: Uso de videos, presentaciones en Power Point y utilización de recursos didácticos diversos.
Co8. Promover el registro sistemático del conocimiento adquirido.	A8: Libretas de apuntes ordenados y clasificados.
P3: Ayudar a que todos aprendan entre si	
Co9. Estimular acciones que promuevan saber escuchar y aprender unos de otros.	A5: Taller de solución de problemas y análisis de situaciones (casos). A6: Actividad de <i>estudiantes monitores</i> en los talleres de solución de problemas.
Co10. Diseñar actividades sociales que generen interacciones productivas y respetuosas.	
Co11. Estimular el diseño y aplicación prudente de criterios y normas.	
Co12. Organizar múltiples actividades sociales estructuradas.	
P4: Promover aprendizajes continuos en cada quien	
Co13. Comprometerse a reflexionar metacognitivamente acerca de las propias ideas y del progreso personal.	A13: Repaso periódico de la forma de realizar actividades y construcción de mapas conceptuales.
Co14. Comprometer a ser críticos de la información que se maneje.	A14: Establecer criterios de selección de información en las páginas web y en los diversos medios de información.
Co15. Promover la participación en actividades orientadas al establecimiento de una cultura de desarrollo permanente.	No aplica.
Co16. Establecer procesos de indagación generalizables que sean apropiados en diversos proyectos educativos.	No aplica.

Un equipo de trabajo, una clase integrada por el o los profesores y los estudiantes o un conjunto de tales equipos o grupos, de inicio y por principio, no tiene que funcionar de manera eficiente respecto de lo que consideramos deba ser una CA, aunque suele ser la semilla a partir de la cual puede crearse y desarrollarse la CA.

Proponemos que el nivel de operación de cualquier CA, en proceso de formación o ya en funcionamiento, estará determinado por el cumplimiento de dieciséis criterios operativos que corresponden a los cuatro Principios cuyo fundamento teórico fue establecido en el desarrollo de diversos proyectos educativos [3].

En la siguiente Tabla II presentamos los cuatro Principios Pedagógicos Pragmáticos (P) con sus correspondientes criterios operativos (Co) que propician su aplicación práctica. La redacción de dichos Co se ha modificado ligeramente respecto del original para enfocarlos específicamente a la creación, desarrollo y evaluación de la CA que corresponda.

Salvo en los dos últimos criterios (Co15 y Co16), en los demás casos indicamos qué tipo de actividad (A) desarrollamos en nuestro proyecto de evaluación formativa.

De la Tabla II puede establecerse lo siguiente:

Para cumplir con catorce de los dieciséis Co sólo se desarrollaron diez tipos de actividades, las ocho que corresponden a A1, A2, A3,... A8 y las dos últimas asociadas con A13 y A14.

Para la evaluación del desempeño de los estudiantes al desarrollar estas diez actividades se elaboraron rúbricas que permitieron dar un seguimiento individual y por grupo a lo largo del semestre. Además, se analizaron las calificaciones de los integrantes de cada uno de los cuatro grupos considerados y los promedios correspondientes por grupo, respecto de cuatro tipos de exámenes: tres exámenes parciales mensuales y el examen final.

Como se explicará el final de la siguiente sección, el indicador que denominaremos factor de Hake modificado, pertenece a dos de las cuatro categorías de Edvinsson y Malone, las que son acumulativas y competitivas, no así las que son comparativas y combinadas.

Obsérvese que las actividades correspondientes a los cuatro criterios operativos del tercer principio P3 (Co9 a Co12) son las mismas que las actividades A5 y A6 asociadas previamente a los criterios Co5 y Co6.

III. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en cinco momentos: Seminario con profesores participantes, selección del curso, selección de los grupos de control y experimentales, aplicación de los Principios y análisis de resultados.

A continuación describimos brevemente los tres primeros momentos; los dos restantes se presentan con más detalle en la siguiente sección.

La primera parte del proyecto consistió en un seminario, durante el cual se discutieron algunos fundamentos teóricos relacionados con los Principios Pedagógicos Pragmáticos,

cuyo producto fue la selección de las actividades descritas en la segunda columna de la Tabla II.

El seminario se llevó a cabo durante ocho semanas con dos sesiones de dos horas por semana. Esencialmente se discutieron dos artículos en los que se da cuenta de diversas aplicaciones de los Principios Pedagógicos Pragmáticos [8, 9].

Se buscaron actividades congruentes con los criterios operativos de los Principios, de manera que no se perdieran de vista los objetivos del trabajo y que permitiesen ser evaluadas por medio de reactivos en un examen escrito para poder especificar indicadores relevantes, accesibles y significativos. La aplicación de las actividades así seleccionadas se describe en la sección IV.

El proyecto se llevó a cabo en una universidad privada de la zona metropolitana de la ciudad de Guadalajara. El curso seleccionado fue Introducción a la Física (Anexo 1) que se imparte en el primer semestre de las carreras ofrecidas por la Facultad de Ingeniería de dicha universidad.

Debe aclararse que el sistema académico es del tipo currículum flexible, asociado a un sistema abierto por créditos, de manera que las clases del primer semestre corresponden, a su vez, a un tronco común, por lo que se integran por una mezcla de estudiantes inscritos en las cinco diferentes carreras, a saber, Ingeniería en Innovación y Diseño, Ingeniería en Animación Digital, Ingeniería Civil, Ingeniería Industrial e Ingeniería Mecatrónica.

Para el tercer momento, se seleccionaron cuatro grupos de características similares en cuanto al número de alumnos, turno (matutino) y horario (a la misma hora, en salones contiguos).

Dos de los grupos se tomaron como grupos de control y los otros dos como grupos experimentales. Los grupos de control fueron atendidos por uno de los profesores participantes, mientras que los grupos experimentales los atendió el otro profesor participante. En los cuatro grupos se trabajaron los mismos contenidos, pero en los grupos de control el curso se llevó a cabo de manera tradicional, de manera que el estilo docente del profesor consistió, esencialmente, en exposición y solución de problemas, con poca participación de los alumnos.

En los grupos experimentales se aplicaron 14 de los 16 criterios operativos para la puesta en práctica de los Principios presentados previamente y se realizaron las actividades señaladas en la Tabla 2; además, las exposiciones del profesor consistieron en presentaciones en Power Point.

Los cuatro grupos tuvieron las siguientes características: los grupos de control se denominaron GC1 (con 25 alumnos, tres de los cuales desertaron) y GC2 (con 22 alumnos, seis de los cuales desertaron), mientras que los grupos experimentales se denominaron GE1 (con 23 alumnos, uno de los cuales desertó) y GE2 (con 24 alumnos, dos de los cuales desertaron). Contamos como deserción el caso de aquellos alumnos que solo presentaron uno o dos de los exámenes parciales y después abandonaron el curso.

La metodología utilizada correspondió a un diseño cuasi experimental [10] en el que se siguió el siguiente esquema: $O_i - X - O_f$, donde O_i representa una observación inicial, X la aplicación de la propuesta de enseñanza - aprendizaje a la

que se refiere este trabajo y *Of* una observación final. Por brevedad, en este trabajo no se reportan los detalles de las aplicaciones de las rúbricas con las cuales se evaluaron los desempeños de los estudiantes en las diez actividades mencionadas en la segunda columna de la Tabla II.

Por ello, en el esquema anterior, lo que se denomina observación inicial comprende los resultados de los tres exámenes mensuales denominados exámenes de periodo, previstos en el sistema institucional, mientras que la observación final corresponde a los resultados del examen final.

Es de hacerse notar que este criterio de definición de las observaciones inicial y final no afecta al esquema cuasi experimental, el cual podría haberse limitado a la aplicación de una observación inicial (pretest) y una observación final (postest).

La puesta en marcha que se refiere a la aplicación *X* de la propuesta se desarrolló en dos etapas (E): la primera etapa (E1) fue común para los cuatro grupos, mientras que la segunda etapa (E2) fue diferente para los grupos experimentales y los grupos de control.

La etapa E1 consistió en que al inicio de cada curso se presentó a los estudiantes el encuadre del curso que incluyó el objetivo general de aprendizaje (Anexo 1), los contenidos y la forma de evaluación, pero no se les informó que serían parte de un proyecto de investigación educativa para no sesgar los resultados; posteriormente, en los cuatro grupos se aplicaron cuatro exámenes idénticos (tres exámenes parciales y un examen final) y se consideraron los promedios de las calificaciones correspondientes a cada grupo, para lo cual se definió un indicador apropiado, el factor de Hake modificado que será descrito más adelante. Para los grupos experimentales.

La etapa E2 significó aplicar la propuesta consistente en analizar el desempeño de los estudiantes en las 10 actividades señaladas en la Tabla II y para los grupos de control implicó que no se puso en práctica la propuesta, sino que se siguió con una metodología tradicional consistente, en lo esencial, en una clase expositiva de acuerdo con el estilo docente más usual en nuestro medio [2].

El aprovechamiento académico de cada grupo se tomó de acuerdo al sistema de evaluación previsto institucionalmente para el curso, el cual consistió en tres exámenes de periodo¹, exámenes cortos (quizz) en cada clase², tareas³ y participación voluntaria en la construcción de un blog de enseñanza de la física [13].

Cabe señalar que esta participación fue relativamente activa al inicio del ciclo escolar y decayó hacia el final del semestre. A los grupos de control no se les invitó a participar en la construcción del blog, aunque se les proporcionó la dirección para que lo visitasen. La cuantificación del aprovechamiento global, que a su vez nos proporciona una

medida global de la efectividad de la aplicación de los criterios operativos, se realizó en términos de la ganancia normalizada o factor de Hake [11], el cual fue modificado, tal como se describe a continuación.

Richard Hake, de la Universidad de Indiana, estudió los resultados de un examen de diagnóstico con un modelo cuasi experimental, tal como lo estamos haciendo en este trabajo. Hake aplicó un pretest y un postest a más de 6,500 estudiantes de 62 cursos similares al curso Introducción a la Física, con lo que encontró que los cursos en los que se utilizó algún método interactivo obtuvieron muy altas ganancias posibles en comparación con cursos tradicionales.

Hake consideró que un método interactivo de enseñanza era aquél que se basaba en lo que se denomina Investigación Educativa en Física o, de sus siglas en inglés, PER (Physics Education Research) [11]. Este autor encontró también que en diferentes instituciones los resultados en exámenes de opción múltiple estandarizados variaban desde el 25% al 75% en relación con el factor de ganancia posible en cursos de Física con estructuras similares, demostrándose así que un buen indicador del mérito académico de un método de enseñanza era el que se llama factor de Hake, definido como sigue

$$g = \frac{\text{Puntaje}(\text{post}) - \text{Puntaje}(\text{pre})}{100 - \text{Puntaje}(\text{pre})}.$$

Los resultados reportados muestran que los grupos con enseñanza tradicional tienen un factor de Hake de 0.16, mientras que a los cursos basados en métodos de enseñanza basados en PER les corresponden factores de Hake que oscilan entre 0.35 y de 0.41, dependiendo de los métodos de enseñanza utilizados.

En este trabajo aplicamos la siguiente modificación a la definición original de factor de Hake (*h*), en donde los porcentajes del pretest y del postest se han sustituido, respectivamente, por los promedios de los tres exámenes parciales (PEP) y por el examen final (EF):

Nuestra modificación en la definición del factor de Hake implica que *h'* no constituye una medida de la ganancia normalizada aplicada a un examen de diagnóstico, como lo es *h*, en donde se comparan dos situaciones, la inicial del pretest y la final del postest.

En el numerador del factor *h'* se compara el promedio de tres exámenes parciales de tipo formativo realizados a lo largo del semestre con el promedio del examen final de tipo sumativo, mientras que el denominador es un factor de normalización como en el caso anterior; además, los valores considerados no corresponden a porcentajes sino a promedios por grupo de las calificaciones obtenidas por los estudiantes.

¹ En el sistema de la UP se definen tres periodos de exámenes institucionalizados, llamados exámenes parciales 1, 2 y 3. Las fechas y horarios se especifican desde el inicio del semestre.

² El quizz consiste en tres preguntas de nivel de conocimiento memorístico básico, como enunciar una definición o principio, escribir una ecuación o diferenciar entre un concepto y otro relacionado con el primero.

³ Las tareas consistieron en resolución de algunos problemas, presentación de un video o una demostración (experimento de cátedra).

El indicador h' así definido corresponde a las categorías que Edvinsson y Malone [6] denominan acumulativa (indica cómo cambian los resultados de los exámenes durante el semestre y al final del mismo) y competitiva (da información respecto del desempeño de cada grupo escolar).

En esta sección presentamos la forma de trabajar con los criterios operativos correspondientes a los Principios en el curso de Introducción a la Física.

Presentamos, primero, la estrategia didáctica general aplicable en todo el curso, y después presentamos algunas de las actividades realizadas acordes a cada momento de la estrategia didáctica, la cual se presenta en la Figura 1.

IV. APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS OPERATIVOS DE LOS PRINCIPIOS PEDAGÓGICOS PRAGMÁTICOS

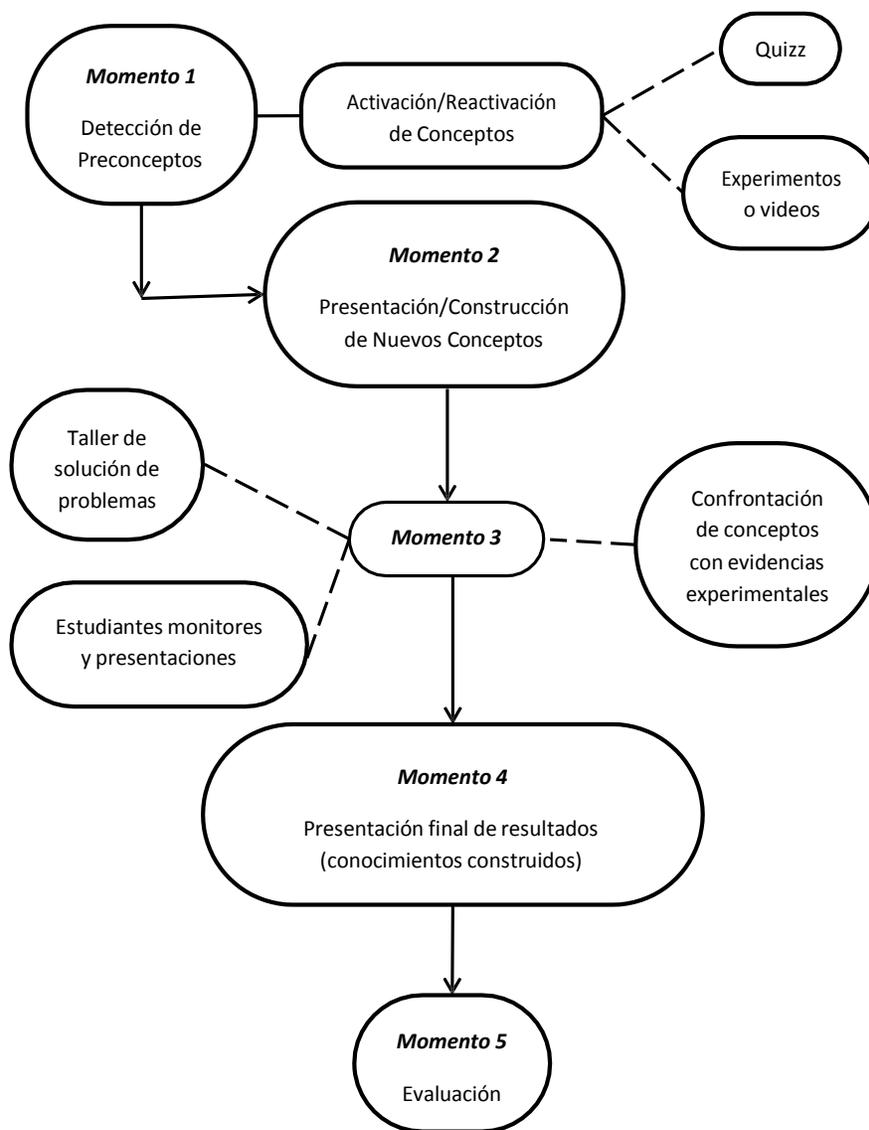


FIGURA 1. Estrategia didáctica para la aplicación de los criterios operativos de los Principios.

La estrategia didáctica está diseñada de manera que pueden apreciarse cinco momentos:

- Momento 1: La activación o reactivación de preconceptos, en la que se ejecutan dos tipos de acciones, los exámenes cortos (quizz) y la realización de experimentos o presentación de videos.

- Momento 2: la presentación y/o construcción de nuevos conceptos; en esta etapa el diálogo socrático [12] se considera un componente esencial.
- Momento 3: se realizan otras actividades como un taller de solución de problemas y/o pueden confrontarse los

conceptos nuevos con evidencias experimentales o aplicaciones, tanto a la vida cotidiana, como a dispositivos o instrumentos; en esta ocasión se implementan actividades como el uso de estudiantes monitores y/o presentaciones en las que se expone lo encontrado en alguna de las páginas web recomendadas.

- Momento 4: este momento depende de las actividades realizadas con anterioridad, pues se trata de poner a consideración del pleno de la clase las conclusiones y/o los productos obtenidos en el taller de solución de problemas, en la realización de experimentos o en las visitas a páginas web; aquí pueden propiciarse debates informales o nuevas confrontaciones.
- Momento 5: consiste en la evaluación del examen parcial de periodo, a realizarse en las fechas establecidas.

Cabe aclarar, por un lado, que en cada sesión se llevan a cabo acciones evaluativas tal como se sugiere en la sección II, y por otro lado, que el esquema propuesto en la estrategia didáctica no debe ni puede ser rígido, puesto que cada sesión puede variar de acuerdo con los avances y participación del estudiantado.

A continuación describimos las diez actividades que sirvieron para tomar en cuenta los criterios operativos de los Principios; las actividades se han agrupado según los cinco momentos previamente mencionados.

A. Momento 1

A.1 Actividad A1

Desarrollo de conceptos a partir de evidencias experimentales propuestas por los estudiantes:

Los propios estudiantes proponen algún tipo de experimentación relacionada con un tema específico.

Como ejemplo de ello tenemos la demostración de la Primera Ley de Newton con base en videos encontrados en YouTube [13]. Los ejemplos de esta actividad y las siguientes se describen en el anexo 2.

A.2 Actividad A2

Realización de tareas semanales de acuerdo con la forma tradicional:

Se señala una cierta cantidad de ejercicios tomados del libro de texto o de los problemarios desarrollados ex profeso para el curso y se les deja para que los resuelvan en casa y los entreguen en la clase siguiente.

El día de la entrega el profesor resuelve los problemas en el pizarrón y les menciona los errores más comunes encontrados en otras ocasiones y explica cada procedimiento.

A.3 Actividad A14

Establecer criterios de selección de información en las páginas web y en los diversos medios de información:

Se hace saber a las estudiantes que no todo lo que aparece en internet cumple con requisitos de calidad y que, de hecho, puede encontrarse basura.

Se hacen recomendaciones de sitios seguros con información confiable, tales como los recomendados en *The Physics Teacher*, de acuerdo con los temas que se tratan en clase.

B. Momento 2

Este momento reviste singular importancia dado que, generalmente, se deriva de la actividad A1 y da lugar a los dos siguientes momentos. Además es también en este momento que se sugieren las actividades A2, A3a y A3b que se utilizan en el Momento 4.

Por otro lado, este momento consiste esencialmente de tiempo dedicado a exposición por parte del profesor y/o al diálogo socrático aunque, puede complementarse con alguna demostración sencilla tomada de la actividad A1.

C. Momento 3

C.1 Actividad A5

Taller de solución de problemas y análisis de situaciones (casos):

En algunas de las sesiones de clase se resuelven problemas que incluyen análisis de casos o situaciones de la vida cotidiana.

El trabajo es en equipo y funciona en forma de trabajo cooperativo.

Aquí diferenciamos el trabajo colaborativo del cooperativo en que colaborar es contribuir con algo o ayudar a otros a lograr un fin, mientras que cooperar es actuar conjuntamente con otros para lograr un fin.

En el trabajo cooperativo se considera una parte de trabajo individual y otra de trabajo con otros.

Ejemplos de problemas que se resuelven son:

- ¿Es la inercia la causa de que los objetos tiendan a permanecer en movimiento rectilíneo uniforme? Es decir, ¿los objetos tienden a moverse con velocidad constante por la inercia?
- En un proceso como disparar una flecha la energía se transfiere de un cuerpo a otro por interacciones. ¿Cómo se llevan a cabo las transferencias de energía en el proceso en que un arquero dispara una flecha y atraviesa una manzana que se encuentra sobre la cabeza de su ayudante?
- En una competencia de arrancones, los automóviles que participan, los *dragsters*, tiene motores extremadamente potentes. ¿Cómo explicas el hecho de que un motor tenga potencia?

C.2 Actividad A6

Participación de estudiantes monitores:

Se relaciona con la actividad anterior, en el sentido de que, al cabo de algunas sesiones, se eligen dos o tres estudiantes sobresalientes para ayudar a compañeros suyos que tengan dificultades para resolver los problemas.

Otro criterio de selección de estos alumnos es que en una sesión de taller terminen con la tarea asignada en poco tiempo.

C.3 Actividad A7

Uso de videos y presentaciones:

Está ligada con la actividad A1. Algunas de las presentaciones de Power Point realizadas por los estudiantes se pueden ver en el blog4 mencionado en A1.

D. Momento 4

D.1 Actividades A3a A3b

Visita a algunas páginas web y realización de experimentos:

La visita a las páginas web en la Actividad 3a es para que los estudiantes rescaten información relevante y, en una clase posterior, la presenten ante sus compañeros en la Actividad A4. Las páginas sugeridas son: www.howstuffworks.com y MinutePhysics.com. Es claro que los estudiantes también pueden sugerir sitios, con la restricción de que han de ser autorizados por el profesor.

La actividad A3b implica la realización de experimentos propuestos por el profesor, los cuales se pueden llevar a cabo de dos maneras: en el salón de clase, como experimento de cátedra o su realización fuera del salón de clases, actividad que deben grabar y, en la clase siguiente, exhibir el video ante todo el grupo.

D.2 Actividad A4

Presentación breve de resultados de A3a o A3b:

Se realiza en la clase posterior a la realización del experimento, o de la fecha en que se encargó la búsqueda de información. Se les proporcionan los lineamientos de presentación, los cuales se evalúan por parte del profesor.

E. Momento 5

E.1 Actividad A8

Libretas de apuntes ordenados y clasificados:

Aunque no se les hace una revisión periódica de sus libretas, se les proporcionan lineamientos sobre la forma en que deben escribirse ecuaciones, desarrollos algebraicos, resultados, etc.

Esta actividad tiene importancia en cuanto a que los estudiantes aprenden a escribir ordenadamente,

TABLA III. Promedios de exámenes parciales y finales y factor de Hake modificado.

especialmente los desarrollos algebraicos y procedimientos de solución de problemas. Más adelante, el orden y la limpieza son factores de evaluación en los exámenes parciales.

E.2 Actividad A13

Repaso periódico de la forma de realizar actividades y construcción de mapas conceptuales:

Corresponde a la actividad cognoscitiva más importante, la metacognición. Por consiguiente, es una actividad que ha de realizarse periódicamente por medio del uso de diferentes recursos, entre los cuales destaca la realización de mapas conceptuales.

Esta actividad se realiza al finalizar una unidad temática, en la cual, al avanzar en el curso, se van incorporando temas anteriores para lograr una visión integral y global de la asignatura.

Hacer que los estudiantes reflexionen sobre las formas de razonamiento y procesos para la solución de problemas es un recurso igualmente importante que puede realizarse en toda retroalimentación (Actividades A2 y A5).

V. RESULTADOS

En este trabajo, para poder aplicar el factor de Hake modificado (h'), se analizaron los resultados de las calificaciones de los tres exámenes parciales y del examen final del curso.

A continuación, en la Tabla III presentamos para cada uno de los cuatro grupos, los promedios de las calificaciones individuales de sus estudiantes, donde EP1, EP2 y EP3 representan los promedios de los tres exámenes parciales, PEP es el promedio de estos tres resultados y EF el promedio del examen final. En este caso, el factor de Hake modificado se definió (Sección III) como $h' = (EF - PEP)/(100 - PEP)$.

Se recordará que en nuestra modificación de la definición original, los porcentajes del pretest y del postest se han sustituido, respectivamente, por los promedios de los tres exámenes parciales (PEP) y por el examen final (EF).

De dicha tabla saltan a la vista las siguientes consecuencias:

1. Los valores negativos para el factor de Hake modificado indican que en los grupos de control los promedios de los exámenes parciales de los estudiantes de cada grupo tienen un valor mayor que el promedio del grupo en el examen final, mientras que en los grupos experimentales sucede lo contrario. Este hecho sugiere que en los grupos de control la evaluación sumativa tiene un valor menor que el promedio de los tres exámenes parciales de tipo formativo, lo cual podría sugerir un retroceso en su rendimiento académico.

GRUPO	EP1	EP2	EP3	PEP	EF	FACTOR h'
GC1	57.83	55.43	48.18	53.81	51.68	-2.13/46.19 = -0.046
GC2	58.4	55.4	45.9	53.23	41.7	-11.53/46.77 = -0.246
GE1	55.6	50.78	78.86	61.75	80.68	18.93/38.25 = 0.495
GE2	54.04	60.92	69.5	61.49	74.54	13.05/38.51 = 0.339

De la tabla anterior saltan a la vista las siguientes consecuencias:

- 1) Los valores negativos para el factor de Hake modificado indican que en los grupos de control los promedios de los exámenes parciales de los estudiantes de cada grupo tienen un valor mayor que el promedio del grupo en el examen final, mientras que en los grupos experimentales sucede lo contrario. Este hecho sugiere que en los grupos de control la evaluación sumativa tiene un valor menor que el promedio de los tres exámenes parciales de tipo formativo, lo cual podría sugerir un retroceso en su rendimiento académico.
- 2) El valor absoluto del factor de Hake modificado es considerablemente mayor en los grupos experimentales, lo cual corresponde a que en el denominador la diferencia 100-PEP es mayor en los grupos de control (valores de 46.19 y 46.77), mientras que en los grupos experimentales corresponde a 38.25 y 38.51, dando un denominador más pequeño y por eso un cociente mayor. Según los resultados reportados por Hake14, un valor de $h = 0.495$ sería sobresaliente y un valor de $h = 0.339$ se encontraría apenas por debajo de la cota inferior de valores considerados como buenos; sin embargo, esta interpretación deberá revisarse porque nuestra definición de h' difiere de la original.

Estos contrastantes resultados sugieren que, en comparación con el método expositivo tradicional seguido en los grupos de control, la aplicación en los grupos experimentales de las actividades —por medio de las cuales se pusieron en práctica los criterios operativos de los Principios—, sí favorece el aprendizaje en términos de un mejor aprovechamiento, en cuanto a la comprensión de la asignatura. Y representa un mayor rendimiento académico, de acuerdo con los promedios de las calificaciones correspondientes a los dos tipos de exámenes: los exámenes parciales de tipo formativo y el examen final de tipo sumativo.

Esta interpretación deberá revisarse cuando se consideren con mayor detalle las características de estos dos tipos de exámenes y se expliciten los efectos de las distintas actividades, según los resultados de las rúbricas correspondientes. En un artículo posterior reportaremos la evaluación realizada por medio de rúbricas de la implementación integrada de los correspondientes catorce criterios operativos (Co1 a Co14).

Consideramos que los resultados obtenidos se deben, en gran medida, a que nuestro modelo de enseñanza supera a los cursos tradicionales en relación con los siguientes factores:

- 1) La planeación del curso considera la selección de contenidos en función del objetivo general de la asignatura (Anexo 1).
- 2) La selección de actividades se realiza de acuerdo con los criterios operativos de los Principios Pedagógicos Pragmáticos.
- 3) Se aplica un sistema de evaluación continua y formativa. Con respecto a este último punto, hemos de precisar que los cursos tradicionales reducen sus evaluaciones solamente a los exámenes parciales de periodo. Además, tomamos en cuenta la motivación [14].

Como nuestros estudiantes presentan las características especiales de la llamada Generación Net (Net Gen), en este trabajo tomamos en cuenta explícitamente a la motivación en dos formas: primero, al desarrollar actividades en las que los estudiantes son protagonistas y, segundo, al promover el acceso a y el uso inteligente de las tecnologías de información y comunicación (TIC's).

Constatamos que para los estudiantes resultaron muy alentadoras y reconfortantes las visitas a páginas web y a sitios en internet, hallazgos que después expusieron ante sus compañeros. Por ello, consideramos que la aplicación de los Principios Pedagógicos Pragmáticos sí favorece aprendizajes de manera importante y que además, su puesta en práctica no representa una sobrecarga de trabajo excesiva para los docentes.

REFERENCIAS

- [1] Tapscott, D., *Growing up digital: The rise of the net generation*, (McGraw-Hill, New York, 1998).
- [2] Lara, A., Cerpa, G. y Núñez, H., *Reporte Interno. Departamento de Física, CUCEI*, (Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 2013).
- [3] Linn, M. C. y Hsi, S., *Computers, teacher, peers: Science learning partners*, (Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 2000).
- [4] Becerra, C., Gras-Martí, A., Hernández, C., Montoya, J., Osorio, L. A. y Sancho, T., *Renovación de la Enseñanza Universitaria Basada en Evidencias (REUBE). Una metodología de acción flexible*, *Perfiles Educativos* **34**, 62-77 (2012).
- [5] UNAM, *Evaluación*, *Perfiles Educativos* **35**, 7-100 (2013). Disponible en: <http://www.iisue.unam.mx/perfiles/index.php?numero=e&anio=2013>.
- [6] Edvinsson, L. y Malone, M. S., *El capital intelectual: Cómo identificar y calcular el valor inexplorado de los recursos intangibles de su empresa*, (Norma, Bogotá, 1998).
- [7] Barojas, J., *Comunidades de Aprendizaje en la Sociedad del Conocimiento*, XIX Simposio Internacional de

Computación en Educación, SOMECE, (Aguascalientes, México, 2003). En disco compacto.

[8] Barojas, J. y Martínez, M. C., *A keplerian laboratory of didactics*, ICPE-EPEC 2013, Charles University, Prague, República Checa (2014). ISBN 978-80-7378-266-5, pp. 287-299. Accesible en <http://iupap-icpe.org/publications/proceedings/ICPE-EPEC_2013_proceedings.pdf>.

[9] Barojas, J. y Martínez, M. C., *Desarrollo de la resiliencia educativa en alumnos de primer ingreso*, Libro de Actas de la Tercera Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la Educación Superior III CLABES, Ciudad de México, México (2013). Disponible en <http://www.clabes2013-alfaguia.org.pa/>.

[10] Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. P., *Metodología de la Investigación*, (McGraw Hill-Interamericana, México, 2010).

[11] Redish, E. F., Steinberg, R., *Teaching physics: Figuring out what works*, Physics Today **52**, 24-30 (1999).

[12] Julian, G. M., *Socratic dialogue – with how many?* The Physics Teacher **33**, 338-339 (1995).

[13] s/a, *Física educativa*, Disponible en: <http://fisicaeducativagd.blogspot.mx>.

[14] Gutiérrez, J. y Meneses, M., *Applying augmented reality in engineering education to improve academic performance and student motivation*. International Journal of Engineering Education **30** 625-635 (2014).

[15] Arons, A. B., *Teaching Introductory Physics*, (John Wiley & Sons, Hoboken, 1997).

ANEXO 1. CONTENIDOS DEL CURSO INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA

Objetivo general de la asignatura

La asignatura Introducción a la Física pretende proporcionar una visión pormenorizada de algunos de los conceptos esenciales de la Mecánica Clásica, de su estructura epistemológica, de su método y de las relaciones que tiene con otras áreas del conocimiento humano, así como su aplicación a la vida cotidiana. El desarrollo de habilidades intelectuales relacionadas con el proceder científico, así como el favorecimiento de una formación integral acordes con los lineamientos institucionales, forman el eje rector de la instrucción.

1. Introducción al estudio de la Física

- 1.1 Ciencia y conocimiento científico
- 1.2 La Física como ciencia
- 1.3 El campo de estudio de la Física
- 1.4 El Método de la Física
- 1.5 La Física y su relación con la sociedad
- 1.6 El lenguaje de la Física
- 1.7 Cantidades Vectoriales y vectores. Suma y resta gráfica.
- 1.8 Nociones de álgebra vectorial
- 1.9 Componentes de un vector
- 1.10 Suma y resta analítica

2. Introducción al estudio de la Mecánica Clásica

- 2.1 Movimiento. Rapidez galileana.
- 2.2 Concepto de interacción. Primer acercamiento al concepto de fuerza.
- 2.3 La ley de la Inercia y la primera Ley de Newton. Masa Inercial.
- 2.4 El Ímpetu
- 2.5 La Segunda Ley de Newton
- 2.6 La Tercera Ley de Newton

- 2.7 Conservación del Ímpetu
- 2.8 La Ley de Gravitación Universal
- 2.9 Caída libre
- 2.10 Tiro vertical
- 2.11 El Peso
- 2.12 La Ley de Hooke
- 2.13 Fricción y resistencia
- 2.14 Aplicaciones en formulación vectorial
- 2.15 Movimiento en dos dimensiones
- 2.16 Movimiento circular uniforme y movimiento circular uniformemente acelerado
- 2.17 Movimiento de proyectiles
- 2.18 Trabajo mecánico
- 2.19 Energía cinética y energía potencial
- 2.20 Energía mecánica y su conservación
- 2.21 Potencia

ANEXO 2. LISTA DE ALGUNAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL CURSO

Actividad A1

Primera ley de Newton

El truco de la moneda sobre una tarjeta, que se encuentran sobre un vaso. El experimento consiste en sacar un papel que tiene sobre él una moneda, sin arrastrarla, de manera que ésta caiga en el vaso.

Vectores

¿Alumnos muy fuertes? Para esta actividad, que tiene que ver con una demostración de las componentes de vectores, se necesita una cuerda de 10 m de longitud. Dos alumnos, de preferencia los más fuertes de la clase, toman la cuerda, uno por cada extremo y jalan, siempre en dirección horizontal, hasta que quede completamente tensa.

No es una competencia de a para ver quién jala a quién; sólo se requiere que la cuerda se encuentre completamente tensa.

Ya que la cuerda se encuentra tensa, se necesita la participación de una alumna a quien se le pide que empuje la cuerda por su centro hacia abajo hasta el piso, venciendo, en consecuencia, a los dos alumnos que tratan de mantener la cuerda tensa.

¿Será posible que la alumna pueda más que los dos alumnos fuertes de la clase? Por supuesto que sí. ¿Por qué?

Movimiento circular

Consigue un palo de la menos 1.5 m de largo (una escoba o algo semejante es bueno). Sostén el palo de manera que quede apuntando horizontalmente hacia delante. Camina en círculo y observa cómo se comporta el palo con respecto a la trayectoria circular que vas siguiendo.

Potencia

¿Eres muy potente? Muchas veces has tenido que subir escaleras ya sea caminando o corriendo.

Si consideramos que subes a un mismo nivel ¿cómo te sientes más cansado, si lo haces caminando o corriendo?

Obviamente corriendo, pero ¿quiere decir esto que realizaste más trabajo?

Otro caso a considerar es ir a tu casa caminando o corriendo, de manera que en ambos casos se recorre la misma distancia. ¿Qué se puede inferir, entonces sobre el trabajo realizado? ¿Y sobre la potencia?

Actividad A2

Tareas semanales de problemas progresivamente más complejos y retroalimentación

Comenzamos con problemas simples del tipo: Un avión de propulsión, originalmente en reposo, despegar desde un porta-aviones al alcanzar una rapidez de 65.0 metros por segundo al final de la plataforma. (a) ¿Cuál es su velocidad tanto al inicio como al final de la plataforma? (b) ¿Cuál es el vector aceleración media para el recorrido?

Para terminar con problemas más complejos como los proporcionados en el texto de Arons [15].

Por ejemplo: un esquiador, cuya masa es 70 kg, se encuentra en la cúspide de una pendiente de inclinación 10° y se prepara para bajarla. La fricción entre la superficie nevada y los esquís es despreciable. Un viento fuerte sopla hacia el esquiador aplicándole una fuerza horizontal de 50 N. Sin utilizar las leyes de Newton, calcular la rapidez del esquiador después de bajar 100 m sobre la pendiente.

Actividad A3b. Realización de experimentos–demostraciones–sencillos.

Esta actividad requiere trabajo en equipo. Se les pide a los alumnos que entreguen un reporte breve de la actividad en el que responden a las preguntas planteadas y describen las

observaciones realizadas. El formato del reporte se les especifica previamente.

Movimiento acelerado en un plano inclinado

Formar equipos de tres integrantes que buscarán una tabla o un cuaderno, la cual servirá como superficie sobre la que se dejará rodar una pelota. La superficie elegida la inclinarán de manera que forme un ángulo con respecto al piso horizontal.

Sobre la superficie realizar marcas cada dos centímetros, colocando el cero (o cualquier otro punto de referencia) en la parte superior. Luego, en el punto de referencia elegido coloquen la pelota en reposo y déjenla en libertad. La pelota comenzará a rodar cuesta abajo.

¿Cómo es su rapidez mientras va rodando cuesta abajo?

¿Se mantiene constante o va cambiando?

En el instante inicial, ¿cuál es el valor de la rapidez inicial?

Con los resultados trazar una gráfica con los valores de la posición en el eje vertical y los valores de los instantes en el eje horizontal.

Este tipo de gráficas se denomina “gráfica de posición contra tiempo”. ¿Qué tipo de línea se obtiene? ¿Qué puede inferirse de esta gráfica?

Fricción

Modificación de la actividad con un plano inclinado. Ahora, se trata de realizar una experiencia similar utilizando el mismo plano inclinado, solo que en vez de usar una pelota, necesitamos un objeto que no rueda, por ejemplo una cajita de cartón y además, un transportador. Primero, sobre el plano colocado horizontalmente, se coloca la cajita en uno de sus extremos.

Luego se va levantando ese extremo lentamente hasta que la cajita comience a deslizarse. En ese instante se mide el ángulo al que comenzó a deslizarse.

Conviene repetir la observación varias veces para obtener un valor promedio del ángulo al que comienza el deslizamiento.

En seguida, colocar un objeto dentro de la cajita, de manera que aumente la masa. Repitan el experimento.

El ángulo al que comienza a deslizarse la cajita con la masa aumentada, ¿es mayor, menor o igual al ángulo con el que comienza a deslizarse la cajita antes de aumentarle la masa? Si hay diferencia entre los ángulos, ¿a qué puede atribuirse esa diferencia?

Actividad A4

Presentación breve de resultados de A3a o A3b. Las presentaciones se realizan de acuerdo con instrucciones específicas.

En el caso de A3a, se presenta la página o sitio visitado, un resumen del tema investigado y conclusiones personales. En el caso de la realización de experimentos se puede presentar un video en el que los mismos estudiantes han realizado el experimento o ejecutar el experimento en el aula.

En cualquiera de los dos casos, presentan un análisis del experimento en términos de los conceptos revisados en clase y las inferencias personales.

Actividad A7

Uso de videos, presentaciones en Power Point, utilización de recursos didácticos diversos.

Primera Ley de Newton (Actividad A1)

Video sobre el truco común realizado por algunos magos o por prestidigitadores, se realiza con una mesa sobre la que se pone un mantel de tela tipo poliéster sobre el que se colocan algunos cubiertos, un plato o dos, y una copa o vaso. El mago

toma el mantel por un extremo y ¡presto! de un rápido tirón lo puede remover sin tirar ni romper ninguno de los cubiertos. Este truco puede realizarlo cualquier persona con un poco de práctica (si piensas en ejecutarlo, comienza con cubiertos irrompibles). Antes de intentar cualquier cosa, contesta las siguientes preguntas predictivas:

¿Qué tan lejos se moverán los cubiertos –o no se moverán?

El peso de los objetos, ¿afecta el movimiento o la falta de movimiento? ¿Es importante la textura de la tela? Si se talla la base de los cubiertos con papel encerado, ¿se afecta el resultado?

Ley de Gravitación Universal

Video sobre el experimento de Cavendish.

Laberinto conceptual como instrumento de evaluación en Física



E. Jiménez, J. Barojas

*Centro Virtual de Investigaciones y Desarrollos Educativos (CVIDE),
Ciudad de México, México.*

E-mail: emmajimenez903@hotmail.com

(Recibido el 16 de Noviembre de 2015, aceptado el 20 de Abril de 2016)

Abstract

This work describes the design and application of written simulators as evaluation instruments that follow the problem solving technique. The written simulator is considered as a “conceptual labyrinth” where the initial entrance describes a problem to be solved. The apprentice propose a solution by choosing among different options represented as “corridors” and in this way a route to the exit is build. The exit is the solution of the problem. When the apprentice choose an option that corresponds to a corridor in a direction closer to the exit, he(she) can go to the next option and continue making decisions in a route near the exit. Contrary, if the chosen option does not correspond to a correct answer, the apprentice gets information in order to modify the route. In general, there is not a unique route and the apprentice can build different paths in order to get out of the labyrinth and solve the problem. In here, we propose a conceptual labyrinth as a formative evaluation instrument looking for the identification of learning achievements and difficulties represented by the routes well taken. We present two conceptual labyrinths for high school students as illustrative examples, one example regards the Newtonian theory of gravitation and another example concerns the theories of special and general relativity.

Keywords: Laberinto conceptual, Física de alta escuela, Evaluación formativa, Teorías de la relatividad.

Este trabajo describe el diseño y aplicación de simuladores escritos como instrumentos de evaluación a través de la técnica de resolución de problemas. El simulador escrito es considerado un ‘laberinto conceptual’, cuya ‘entrada’ es una escena inicial que propone un problema a resolver. Para proponer su solución el aprendiz elige opciones que son ‘corredores’ por los cuales construye su ‘ruta’ de ‘salida’ del laberinto. La salida es la solución del problema inicial. Cuando el aprendiz elige un corredor que le acerca a la solución correcta, pasa a las siguientes opciones y continúa con la toma decisiones para avanzar en su ruta de salida. Si, por el contrario, una opción no le acerca a la respuesta correcta, se le proporciona información y puede redirigir su ruta a partir de la retroalimentación recibida. En general, no existe una ruta única y el aprendiz puede salir del laberinto o responder al problema inicial siguiendo caminos diferentes. En este trabajo se propone al laberinto conceptual como instrumento de evaluación formativa para identificar, a través de las rutas seguidas, los aciertos y dificultades en el aprendizaje. Como ejemplos ilustrativos se presentan dos laberintos conceptuales para estudiantes de bachillerato, uno sobre teoría newtoniana de gravitación y otro sobre teorías de relatividad especial y general.

Palabras clave: Conceptual labyrinth, High school physics, Formative evaluation, Relativity theories.

PACS: 01.40.-d, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCTION

En el bachillerato la evaluación de aprendizajes en Física emplea con mucha frecuencia instrumentos en los que solicita a los alumnos repetir lo que el profesor dijo en clase, el procedimiento que empleó para resolver un problema, o bien lo que se señala en algún libro de texto.

En la medida en que lo repetido por el estudiante se apegue a lo dicho y hecho por el profesor y/o a lo que señala el texto que sirvió para estudiar, la calificación será más alta.

Por supuesto el aprendizaje que respalda este tipo de instrumentos es memorístico en su mayoría, con poco (o ningún) significado para los alumnos y con muy poca posibilidad de ser trasladado a situaciones de su vida, por lo

que es considerado inútil. Y no es que el aprendizaje memorístico sea inservible, es necesario para un sin número de cosas en la vida diaria y académica. Se trata de que la información adquirida a través del aprendizaje memorístico se interprete, articule y procese para ser empleada en la solución de problemas.

Así, aunque en un instrumento de evaluación sumativa se indague por lo aprendido de memoria, su riqueza sería mayor si también se pregunta por la forma en que le emplea para resolver situaciones específicas.

Aunque los profesores de Física del bachillerato pueden saber los contenidos que enseñan, son pocos los que saben cómo enseñar esos contenidos y sobre todo cómo valorarlos desde una perspectiva en la que se promueva aprendizaje

significativo. Además de esta problemática de formación docente, existen ciertos temas que se tratan con más frecuencia que otros en los currículos. Leyes de Newton, Calor, Temperatura y Circuitos eléctricos no faltan, mientras que temas de Física Moderna como Relatividad son menos considerados.

Por otro lado, para valorar el aprendizaje de los estudiantes los instrumentos de evaluación sumativa (normalmente con enfoque de repetición) se privilegian sobre los de las evaluaciones diagnóstica y formativa. Seguramente porque a partir de la primera se asigna una nota para la promoción. Cabe hacer mención de la existencia de ejemplos sobre instrumentos de evaluación que presentan una perspectiva que rebasa a la memoria [1].

A partir de que hay contenidos de Física que casi nunca se tratan, que a los instrumentos de evaluación sumativa se les concede más importancia para valorar el aprendizaje y que su enfoque es generalmente memorístico, en este trabajo se propone abordar al tema Relatividad a través de un instrumento de evaluación formativa denominado 'simulador escrito'. Este consiste en plantear una situación problemática contextualizada a partir de la cual el alumno va tomando decisiones al elegir dentro de las opciones presentadas. De esta forma cada alumno construye su solución.

Durante este proceso, se va proporcionando retroalimentación que permite al alumno incorporar, modificar y consolidar ideas sobre contenidos específicos.

En la literatura revisada no se encontraron ejemplos de simuladores escritos para temas de Física, sin embargo se revisaron varios instrumentos a partir de los cuales surgieron ideas para la construcción de las cuestiones y rutas que conforman a los simuladores, algunos de ellos son:

- Las cuestiones sobre preconceptos propuestas por Hierrezuelo & Montero (2002) en su libro La Ciencia de los alumnos [2].
- El Force Concept Inventory de Hestenes [3], traducido al español por Alejandro González.
- El Relativity Concept Inventory de Aslanides & Savage (2013) [4].
- Múltiples cuestiones presentadas por profesores para apoyar las simulaciones PHET de la Universidad de Colorado [5].

Los apartados de este documento son:

Laberintos conceptuales

Se describen éstos como simuladores escritos; instrumentos de evaluación formativa que apoyan el aprendizaje de los estudiantes mediante la retroalimentación. Consisten en la solución de un problema mediante la elección de las opciones propuestas.

La secuencia de opciones conforma una ruta que cada estudiante construye. Cuando un profesor analiza la ruta de sus estudiantes puede identificar aspectos sobre la forma en que ha enseñado el tema en cuestión.

Perspectiva conceptual

Aborda el valor cognitivo de la solución de laberintos conceptuales y lo relaciona con el punto de vista de que las Matemáticas son un laberinto lógico, además describe

que resolver un problema se parece a recorrer exitosamente un laberinto.

Laberinto de gravitación newtoniana

Presenta un laberinto que puede ser resuelto por dos caminos. Uno de ellos es experimental, implica que el estudiante mida masas con balanzas y pesos con dinamómetros para identificar la relación entre masa y peso, al transitar por ideas de gravitación universal en un proceso inductivo. El otro es teórico, parte de la ley de gravitación universal para identificar la relación entre masa y peso en un procedimiento deductivo; está disponible en: <http://comcol.pbworks.com>.

Laberinto de relatividad especial

Se refiere el diseño de laberintos conceptuales que valoran el tema relatividad especial, para ser elaborados por profesores que cursarán la asignatura Fundamentos teórico metodológicos, de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior de la UNAM, en su modalidad a distancia. Disponible en: <http://comcol.pbworks.com>.

Laberinto de relatividad general

Muestra un laberinto que parte de una situación cercana y ya conocida por los estudiantes (el trabajo de Galileo acerca de esferas que ruedan por planos inclinados), para que a partir de ésta se aborden las ideas principales de la relatividad general, analizando algunos videos: principio de covarianza, principio de equivalencia y curvatura de la trayectoria de un rayo de luz al pasar cerca de una gran concentración de masa. Disponible en: <http://comcol.pbworks.com>.

Conclusiones

Se puntualiza el desafío intelectual y el valor cognitivo del empleo de laberintos conceptuales en la evaluación formativa dentro de la enseñanza de la Física.

II. LABERINTOS CONCEPTUALES

En la teoría sobre Evaluación de los Aprendizajes, los Simuladores Escritos son instrumentos de evaluación que se ubican dentro de la técnica Solución de Problemas. Estos instrumentos son retomados aquí para apoyar la enseñanza de la Física y la evaluación de sus aprendizajes. En este ámbito identificamos que estos instrumentos son **laberintos conceptuales**, en el sentido de que presentan un conjunto de conceptos de Física por los que aprendiz debe transitar para vencer retos que consisten en contestar preguntas, de manera que si ha aprendido lo suficiente y lo aplica para responder adecuadamente podrá encontrar la salida del laberinto.

Recorrer un laberinto conceptual constituye una prueba amigable para resolver una serie de retos planteados a lo largo de posibles trayectorias o rutas que habrán de definirse y recorrerse para ir de la entrada del laberinto a su salida.

A la entrada se presenta un contexto de aprendizaje que define una situación problematizadora que hay que comprender; es la escena inicial de un viaje por un espacio cognitivo.

Poder llegar a la salida, la escena final del viaje, significa que la contextualización del aprendizaje ha funcionado de

manera tal que se logra explicar el contexto mediante la solución de un problema, el desarrollo de un proyecto o el tratamiento de un tema.

Entre la entrada y salida del laberinto hay una serie de estaciones debidamente numeradas (o vinculadas digitalmente) en donde el aprendiz que va recorriendo el laberinto encuentra las preguntas generadoras del contexto, las cuales deberá responder utilizando los conocimientos de que dispone y las habilidades que aplicará para resolver los retos a los que se enfrenta.

En cada estación se presentan varias opciones de respuesta. En algunas ocasiones una de ellas es la mejor respuesta, la más adecuada, la correcta; en otras ocasiones simplemente se trata de decidir cuál camino es más afín a los gustos o intereses del estudiante, según sea el conocimiento que tenga del tema.

Si el aprendiz selecciona todas las mejores opciones de respuesta se acercará a la salida, significando que entiende completamente lo que se le ha pedido, que conoce acerca del contexto, y por lo tanto habrá resuelto con éxito el laberinto conceptual.

Sin embargo, esta situación ideal no siempre se presenta y entonces, hay estaciones que contienen una respuesta acertada y que incluyen cierto número de opciones adicionales que contienen errores conceptuales y/o procedimentales.

El número de estas respuestas inadecuadas, incorrectas o incompletas, depende del tipo de contexto, del nivel de la pregunta generadora y de qué tan amplio es el espectro de posibles errores que se hayan considerado; se trata de escoger los errores más frecuentes y representativos.

Cada respuesta contiene una instrucción (o un vínculo digital) que conduce a determinado corredor; será cuando el aprendiz llegue al corredor seleccionado que sabrá si su respuesta es correcta o no. En el primer caso llegará a una nueva estación y entonces avanzará hacia la salida, pero si el corredor lo lleva a un kiosco de orientación es que tiene que replantear su respuesta porque se ha equivocado y ha cometido algún error.

Los kioscos de orientación son de ayuda, no califican ni descalifican, le brindan oportunidades al aprendiz para que mejore su aprendizaje, y para ello le proporcionan información, instrucciones y recomendaciones. Los kioscos son aliados del instructor que no dan las respuestas correctas; están para ayudar a que el aprendiz encuentre sus errores, los corrija y, habiendo replanteadado su respuesta, regrese a la estación de la que no pudo avanzar.

El propósito de plantear caminos alternativos para pasar de una estación a otra no es de revisar lo que los aprendices recuerdan porque han memorizado las respuestas, sino de hacerlos pensar y que se den cuenta de qué saben y qué les falta saber. Por eso, para recorrer el laberinto, el aprendiz debe reflexionar, valorar y luego tomar decisiones.

En esto estriba el carácter de evaluación formativa del laberinto y su diferencia con un camino bien trazado, al que no siempre se tiene acceso, pero que invariablemente contiene las indicaciones precisas y completas para llegar con certeza a la salida.

Laberinto conceptual como instrumento de evaluación en Física

Resumiendo, todo buen laberinto conceptual debe consistir en una secuencia clara y accesible, pero retadora, de los elementos que lo componen:

- Problema inicial contextualizado.
- Estaciones con preguntas generadoras.
- Corredores que corresponden a las opciones de respuesta.
- Kioscos de orientación con la información y las instrucciones para que los aprendices entiendan cuál ha sido el error en la opción de respuesta que escogieron, cómo corregirlo y qué hacer para llegar a la siguiente estación del laberinto.

Quien va construyendo su camino escogiendo respuestas se está autoevaluando; en cada etapa de su viaje conceptual por el laberinto puede precisar en dónde está y qué le falta para seguir adelante. Además, los aprendices no se encuentran sujetos a presiones innecesarias como el tener que responder en tiempos fijos o estar obsesionados por obtener calificaciones aprobatorias pero sin darse cuenta de lo que realmente ha aprendido.

Esta herramienta o instrumento de evaluación formativa es útil porque permite obtener información significativa y oportuna respecto de los aprendizajes logrados. Son los aprendizajes que pone en práctica cada aprendiz al escoger sus respuestas, y luego actuar en consecuencia. También representan aprendizajes para el instructor a cargo del grupo cuando revisa e interpreta lo que reflejan los caminos seguidos por sus estudiantes, ya que la trayectoria seguida para recorrer las estaciones, corredores y kioscos por los que pasa cada aprendiz es la huella de sus aciertos y dificultades.

Dicha información será invaluable para el instructor con el fin de ajustar su tarea docente y mejorar los resultados de su enseñanza.

A continuación concretamos lo anterior y como ejemplos ilustrativos describimos tres laberintos, el primero dedicado a la teoría newtoniana de la gravitación y los dos siguientes enfocados, uno a la teoría de la relatividad especial y otro a la teoría de la relatividad general. Cada uno de estos laberintos se ha diseñado, elaborado, aplicado y evaluado de manera diferente, teniendo siempre en mente su función de herramienta de evaluación formativa.

III. PERSPECTIVA CONCEPTUAL

Nuestro propósito es ilustrar cómo el uso de laberintos cognitivos es de interés como instrumento de evaluación a tres niveles respecto de la construcción y aplicación de los aprendizajes, según se refieran al diseño de estructuras, a la puesta en práctica de propuestas y procedimientos y/o a la interpretación de resultados y consecuencias.

La idea de utilizar laberintos cognitivos como instrumento de evaluación ha tenido muy diversas aplicaciones en el mundo de la educación. Siendo a la vez, un pasatiempo y un reto, tiene implicaciones didácticas y epistemológicas significativas.

Aquí consideraremos tres ejemplos de aplicación de laberintos cognitivos en Física.

En lo que sigue, nos referiremos a las primeras páginas del libro de Stewart (2001), *El laberinto mágico. El mundo a*

través de ojos matemáticos [6]. Tomaremos como punto de partida una versión casi literal de una selección de ideas contenidas en las secciones intituladas Antes de entrar y Entrada (páginas 7 a 13).

A continuación insertamos en la Tabla I lo escrito por Stewart, aclarando que los cambios en el orden de las ideas

en la redacción son responsabilidad nuestra; indicamos con letra cursiva aquellas palabras que no escribió Stewart, pero que le dan sentido a las frases en que se insertan, sin modificar el sentido original.

TABLA I. Algunas ideas de Ian Stewart.

<p><i>Conviene utilizar la metáfora del laberinto para describir las Matemáticas, su naturaleza mágica. Las ideas Matemáticas forman una red. Las interconexiones entre ideas son deducciones lógicas. Transitar por ese laberinto mágico es un viaje particular, siendo guiado a través de un camino seleccionado que cristaliza cuando ideas vagas se transmutan en palabras impresas. El libro es un laberinto de posibilidades y presenta las posibles estructuras que consideran a las Matemáticas como una red interconectada. Lo que hace un matemático es ver oportunidades para romper el círculo vicioso de la lógica auto-referencial.</i></p>
<p>Un laberinto lógico es un laberinto mágico, es un laberinto de la mente. El laberinto es la Matemática. El laberinto mágico trata el material de una forma diferente, en donde las descripciones y las imágenes reemplazan a las demostraciones, los aparatos y las sesiones interactivas con miembros de la audiencia. Recorrer el laberinto requiere navegar, con confianza, a través de una intrincada red de posibilidades lógicas. En cada paso se tienen que tomar decisiones; hay que escoger y seguir un camino concreto a través del laberinto. Para diseñarlo hay que definirlo claramente y hacerlo tan suave como sea posible para aquellos que lo siguen. Para recorrerlo hay que ponerse a prueba para descubrir un mundo invisible de oportunidades ilimitadas. Para interpretarlo hay que ver con otros ojos, con ojos abiertos a la belleza de las Matemáticas y su relación con la belleza de la naturaleza.</p>
<p>La utilidad no es el único criterio de valor, <i>también</i> están las ideas fascinantes sobre el mundo material. Las Matemáticas son bellas, sorprendentes, agradables e interesantes. Son un intercambio de doble dirección entre el mundo natural y la mente humana. Las Matemáticas conectan ideas revelando profundas similitudes que posteriormente se manifiestan en la naturaleza. <i>Si solo son</i> creaciones de la mente humana, <i>permiten ejercer</i> poder sobre el mundo. <i>Son más que</i> juegos y rompecabezas; una pregunta simple y divertida puede conducir a ideas profundas y de largo alcance. ¿Cómo es que las pautas y patrones que residen en nuestra mente <i>captan y expresan</i> las pautas y patrones del universo que nos rodea?</p>

Si bien las ideas de Ian Stewart se refieren a las Matemáticas, consideramos que son apropiadas para motivar y en cierta medida justificar nuestro enfoque acerca de la evaluación de los aprendizajes en Física, consistente en considerar que resolver un problema es equivalente a recorrer con éxito un laberinto conceptual.

Podemos transferir a la evaluación del aprendizaje en Física mucho de la manera como Stewart explica el proceso de hacer Matemáticas, desarrollar el pensamiento matemático, ayudar a aprender Matemáticas y comunicar la excitación, la alegría y el placer estético de aplicar las Matemáticas. Lo dice en su libro cuando muestra que las Matemáticas son un laberinto.

Las Matemáticas son un lenguaje y un método, un lenguaje de utilidad en la representación de sistemas y un método de importancia práctica en la interpretación de fenómenos. Generalmente las Matemáticas se desarrollan porque existe curiosidad por entender, estén o no motivadas por la satisfacción de intereses o necesidades de naturaleza individual o social.

Las ciencias, naturales y sociales, utilizan y a veces desarrollan Matemáticas, pero no son Matemáticas. Las ciencias también tienen sus lenguajes y sus procedimientos, que a veces se parecen y apoyan en las Matemáticas, pero incorporan la componente de la observación y la experimentación de la realidad concreta.

Las ciencias requieren de sus propias herramientas cognitivas, así como de dispositivos y procedimientos de

control, medición y registro; buscan contestar las preguntas que el investigador le hace a la naturaleza, al ser humano o a la sociedad.

En este sentido es conveniente que el aprendiz se capacite en tales términos, aunque sea de manera gradual y empiece por lo conocido, simple y accesible, para después abordar con conocimientos, actitudes y experiencias, la solución de problemas, la construcción de modelos y el diseño de sistemas. Primero lo hará para enfrentarse satisfactoria y significativamente al aprendizaje prescriptivo, pero deberá prepararse para aproximarse al aprendizaje emergente.

Evaluar tales aprendizajes sirve para saber qué tenemos y qué nos falta; conviene ubicarnos en el camino del conocimiento y precisar mejor la ruta en ese aprender para entender, comprender, descubrir, inventar, transformar...eso es justamente lo que proponemos que debe hacerse para resolver un laberinto cognitivo.

Para evaluar aprendizajes es de interés diseñar y aplicar laberintos cognitivos. Evaluar lo aprendido se parece a enfrentarse al desafío intelectual de recorrer un laberinto y experimentar la aventura de luchar para encontrar la salida, sin desanimarse por las vueltas, encrucijadas y callejones sin salida que hay que superar.

Si Piaget dijo que aprender es hacer (*apprendre c'est agir*), caminar exitosamente por el laberinto es atreverse a pensar, superar las dificultades y corregir los errores, para finalmente demostrar que se ha aprendido algo porque se logró encontrar la salida.

IV. LABERINTO DE GRAVITACIÓN NEWTONIANA

El laberinto de gravitación fue el primero en ser elaborado.

Fue construido con 79 estaciones (cuestiones) registradas en un documento (en hojas de papel) que se proporcionó a 55 estudiantes del Colegio de Bachilleres de segundo semestre, como evaluación formativa, después de haber revisado en clase el tema de gravitación universal. Ellos estaban ubicados en un salón amplio donde se dispuso mesas de trabajo con instrumentos (balanza, dinamómetro, flexómetro y cronómetro) y libros de texto de Física General (Alvarenga *et al.* (2004) [7], Hewitt (1999) [8], Tippens (2007) [9], de tal forma que los estudiantes pudiesen tomar aquello que consideraban pertinente durante la construcción de su ruta.

Las estaciones están numeradas de tal forma que, de acuerdo con su elección, cada estudiante busca en su documento la hoja en que se ubica dicha estación y, en función de sus decisiones puede hacer uso del material dispuesto en el salón.

Laberinto conceptual como instrumento de evaluación en Física

Para abordar este laberinto se requiere que los estudiantes tengan conocimiento previos sobre:

- Medir masas y pesos con los instrumentos respectivos.
- Distinguir entre variable dependiente e independiente.
- Construir gráficas ubicando adecuadamente cada variable.
- Reconocer las características de las proporciones directas.
- Hacer cálculos sobre proporcionalidad directa.
- Hacer operaciones con notación científica.

En este laberinto (disponible en <http://comcol.Pbworks.com>) se presenta al estudiante un contexto en el que un alumno es sorprendido jugando videojuegos en clase y su profesor de Física le solicita la realización de un trabajo extra que consiste en identificar la relación que existe entre la masa de un objeto y la fuerza con que es atraído hacia la Tierra.

Se pide entonces al estudiante que, si él/ella fuese este alumno que juega en clase, decida cómo resolver el trabajo extra clase.

Así la primera estación de este laberinto se muestra en la Tabla II.

TABLA II. Primera estación con sus opciones.

1. Si tú fueras Luis ¿cómo empezarías para encontrar la relación que existe entre la fuerza con que la Tierra atrae a los objetos y la masa de éstos?	
a) haces un plan	ir a 61
b) consultas en los libros	ir a 4
c) revisas tus apuntes	ir a 39
d) te diriges a la mesa y tomas los instrumentos	ir a 52

Con esta estación el estudiante inicia su ruta para salir del laberinto, es decir construir la respuesta al problema planteado al elegir entre los corredores (opciones) disponibles.

Conforme va pasando por las diferentes estaciones el alumno escribe su número en una hoja de Registro de Ruta que permite identificar el camino seguido, así como las opciones en las que no se tomó un corredor certero, y fue necesario regresar para elegir otro corredor u opción de respuesta. En esta hoja se solicita también que el alumno redacte brevemente la respuesta al problema inicial.

A pesar de que el laberinto consta de 79 estaciones, no es necesario pasar por todas para salir. Cuando se aplicó este instrumento a los estudiantes del Colegio de Bachilleres, muy pocos requirieron más espacios que los indicados en la Hoja de Registro de Ruta. Esto se debió a que en repetidas ocasiones tomaron malas decisiones en una estación y fue necesario regresar a ella para corregir el camino.

Cuando se analiza la Hoja de Registro de Ruta de un estudiante se puede saber cuál fue el camino tomado con sólo identificar los números registrados. De manera general se distinguen dos posibilidades: la ruta experimental o de mediciones que pasa por las estaciones 52 y 21, y la ruta teórica o de conceptos que pasa por las estaciones 4-44.

Por la ruta experimental los estudiantes deben tomar los instrumentos de medición disponibles en las mesas de trabajo y medir la masa de objetos a su elección (libros, mochilas, chamarras) al emplear una balanza. También es necesario que midan sus respectivos pesos con ayuda de dinamómetros.

A continuación, identifican cuál es la variable dependiente y cuál la independiente, y construyen tablas de datos a partir de los cuales grafican. Al revisar la forma de la curva obtenida, deciden el tipo de relación que existe entre las variables representadas, calculan la constante de proporcionalidad y llegan a establecer que existe una proporción directa entre la fuerza con que la Tierra atrae a un objeto y su masa, donde la constante de proporcionalidad es g (aceleración de la gravedad).

Por la ruta teórica, los estudiantes retoman la ley de gravitación universal. Con base en el modelo analizan su aplicación para objetos en la superficie de la Tierra y reconocen los valores que se consideran constantes (G , masa de la Tierra y radio terrestre). Luego sustituyen estos valores en el modelo y hacen cálculos sencillos para obtener. A partir de esta relación identifican que entre la fuerza con que la Tierra atrae a un objeto y su masa existe una proporción directa, donde la constante de proporcionalidad es g .

Ambas rutas pueden identificarse en las figuras 1 y 2.

Muestran el diagrama del laberinto conceptual de gravitación, con sus estaciones, corredores e ideas principales.

Adicionalmente, algunos observadores pueden apoyar durante la aplicación del laberinto. Pueden seguir el desempeño de algún estudiante en particular y registrar en una Lista de Cotejo aquellas habilidades científicas cuyo desarrollo logran identificar.

Aunque para la ruta de mediciones y de conceptos se documentan aspectos diferentes, como el reconocer unidades de instrumentos para la primera en contraste con reconocer el carácter universal de la gravitación para la segunda, hay habilidades que en ambos casos se consideran como las asociadas a valorar el propio proceder.

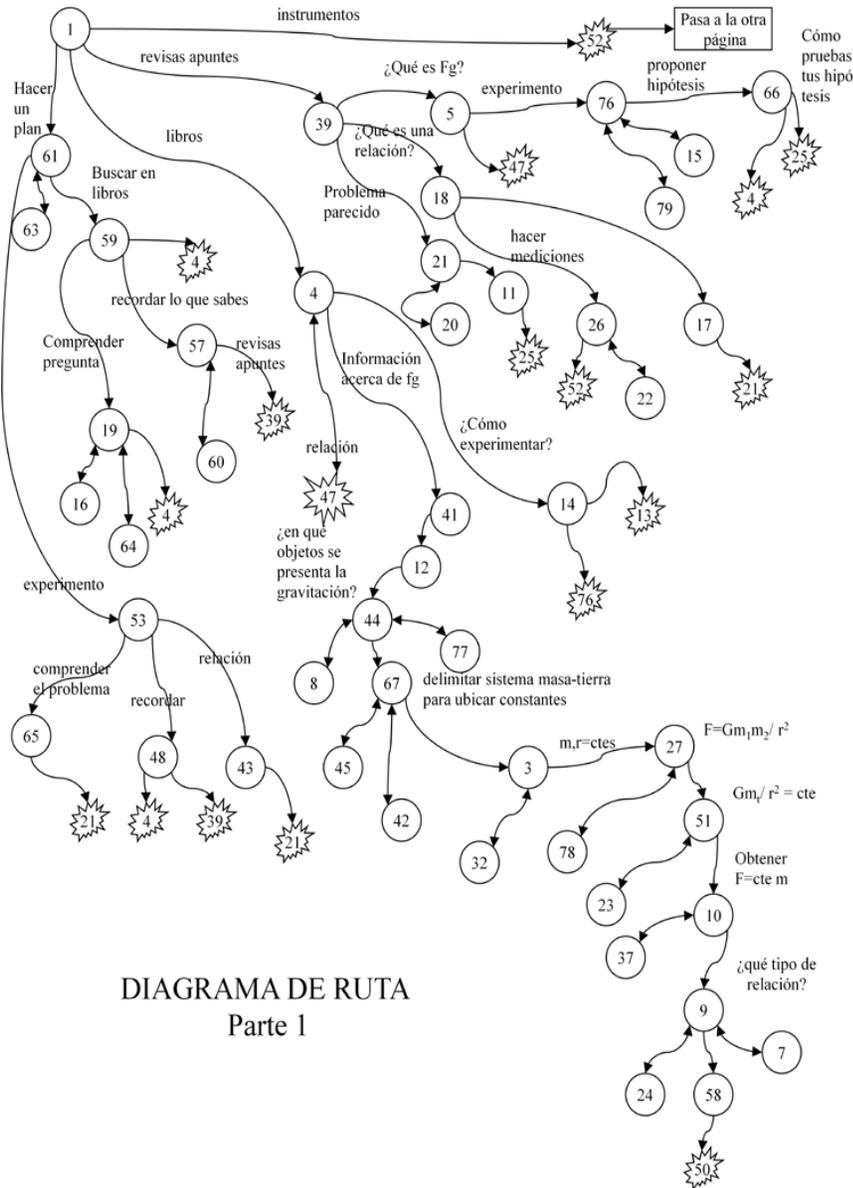


FIGURA 1. Diagrama del laberinto conceptual de gravitación. Parte 1.

En la Tabla III se presentan algunas de las habilidades consideradas en estas listas.

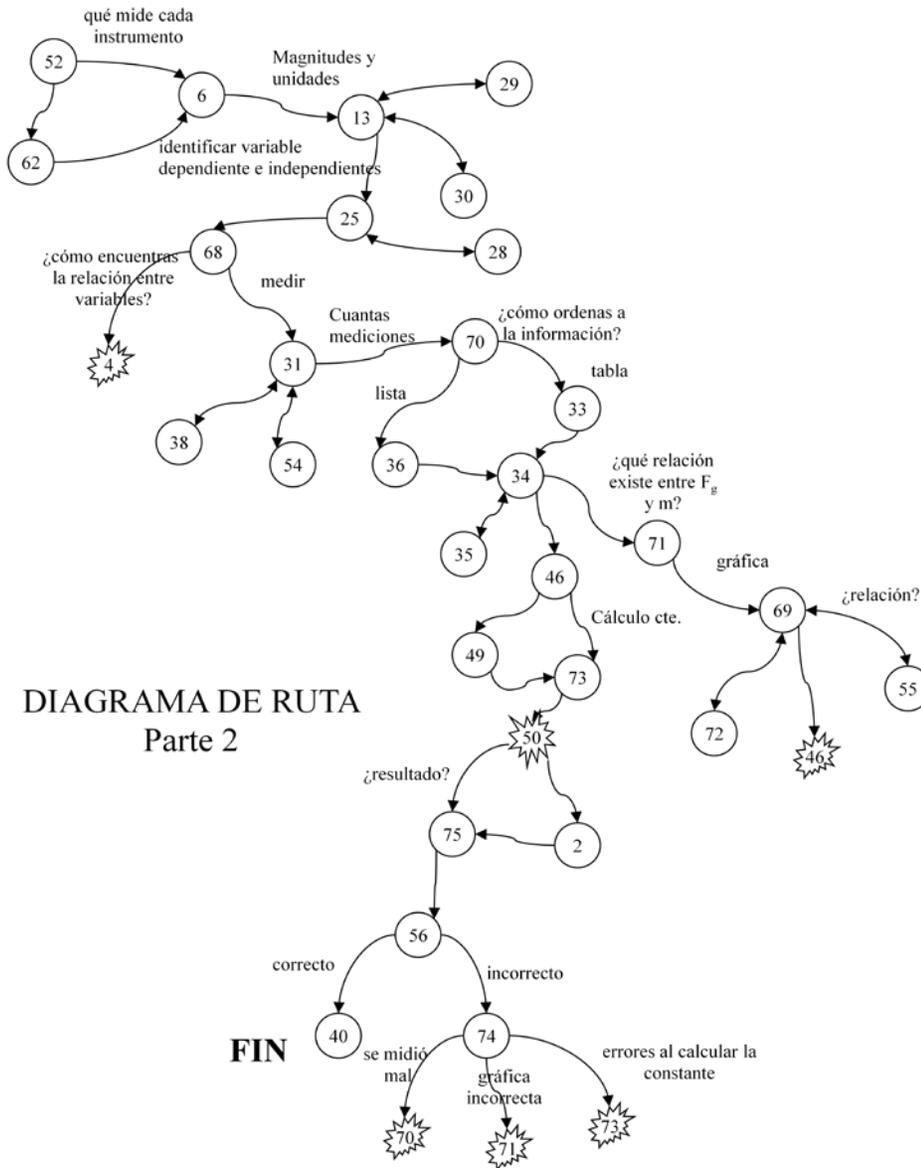


FIGURA 2. Diagrama del laberinto conceptual de gravitación. Parte 2.

La aplicación del laberinto de gravitación, como evaluación formativa de este contenido, puede ser replicada en el aula con relativa facilidad, pues sólo requiere de fotocopias, libros de texto y material disponible en los laboratorios escolares. También puede ser dejada como tarea; los estudiantes podrán bajar el simulador del blog en la dirección siguiente <http://comcol.pbworks.com>; posteriormente deberán enviar al profesor su hoja de Registro de Ruta. En este mismo sitio los profesores podrán consultar las Listas de Cotejo completas.

V. LABERINTO DE RELATIVIDAD ESPECIAL

Este ejemplo considera el diseño y aplicación de un 'laberinto conceptual', cuya 'entrada' es una estación inicial que propone un problema a resolver en donde se describe un

contexto de aprendizaje referido al tema de relatividad especial. Este laberinto se ha diseñado como una prueba de evaluación formativa para profesores del nivel de bachillerato que han cursado previamente la asignatura Fundamentos teórico-metodológicos, dentro de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS) de la UNAM en la modalidad a distancia.

Cada profesor deberá construir su propio laberinto conceptual a partir de una estructura de estaciones conectada con la temática de la asignatura correspondiente, pero cuyos contenidos están por describirse de acuerdo al contexto propuesto por quien elaborará y luego aplicará el laberinto a sus alumnos del bachillerato, cuando enseñe el tema de relatividad especial.

Para resolver la evaluación formativa consistente en la elaboración del laberinto, el profesor deberá describir en la primera estación del laberinto la situación problematizadora que define al contexto que propone y después dar la versión

contextualizada de las preguntas generadoras correspondientes a las siguientes estaciones; además, deberá

definir los contenidos de tres opciones de respuesta en cada estación.

TABLA III. Algunas habilidades consideradas en Lista de Cotejo.

RUTA DE MEDICIONES (52-21)		
HABILIDAD PARA MEDIR	SI	NO
4. Reconoce a las unidades de medida de cada instrumento		
HABILIDAD PARA REGISTRAR Y COMUNICAR		
7. Registra sus observaciones		
HABILIDAD PARA APLICAR E INTERPRETAR CONCEPTOS		
10. Emplea la información de los tipos de relación para hallar la respuesta		
HABILIDAD PARA ARITMÉTICA		
12. Calcula F_g/m para cada observación sin cometer errores		
HABILIDAD PARA VALORAR PROCEDIMIENTOS		
14. En caso de haber error identifica su origen		
DESEMPEÑO		
16. Muestra interés		
OTRAS OBSERVACIONES:		

RUTA DE CONCEPTOS (4-44)		
HABILIDAD PARA INTERPRETAR Y APLICAR CONCEPTOS	SI	NO
2. Reconoce el carácter universal de la gravitación		
HABILIDAD PARA REGISTRAR Y COMUNICAR		
8. Toma notas durante el proceso		
HABILIDAD PARA HACER SUPOSICIONES		
10. Se plantea más de una suposición a lo largo del proceso		
HABILIDAD MATEMÁTICA		
11. Emplea notación científica correctamente en el cálculo de g		
HABILIDAD PARA EL MANEJO DE UNIDADES		
12. Obtiene la unidad adecuada (m/s^2) para g		
HABILIDAD PARA VALORAR PROCEDIMIENTOS		
14. Realiza acciones para corregir errores detectados		
DESEMPEÑO		
17. Avanza con fluidez		
OTRAS OBSERVACIONES:		

Cuando quien recorre el laberinto elige la respuesta correcta pasa a la estación siguiente, pero si la opción de respuesta seleccionada contiene algún error de tipo conceptual o procedimental, va a un kiosco de orientación en donde se le proporciona información de apoyo para que comprenda su error, y regrese a la estación en la que estaba atorado y seleccione una nueva opción de respuesta. Si ahora escoge la respuesta correcta pasará a la estación siguiente pero en caso contrario tendrá que pasar por un segundo kiosco y luego volver a la estación en cuestión para tomar finalmente la opción correcta.

Los contenidos de los dos kioscos de orientación correspondientes a las estaciones comprendidas entre la entrada y la salida serán elaborados por el profesor que propone su laberinto.

El laberinto que proponemos contiene once estaciones (E), siendo E1 la estación de entrada y E11 la de salida. Para recorrer el laberinto deberán seguirse sucesivamente tres Rutas:

Ruta A - principios de la relatividad especial (Estaciones E1-opción (a), E2, E3, E4, E5 y E1),

Ruta B - aspectos experimentales (Estaciones E1-opción (b), E6, E7, E8 y E1) y

Ruta C - otras consecuencias de la teoría (Estaciones E1-opción (c), E9, E10 y E11).

En lo que sigue describimos las preguntas que se proponen para ser contextualizadas en cada una de las once estaciones

del laberinto, según la secuencia de las tres rutas antes señaladas; además, indicamos con letra cursiva las instrucciones que señalan los pasos a seguir para recorrer el laberinto.

E1: ¿Cuál es el límite de validez de la mecánica newtoniana respecto de sistemas cuya velocidad es cercana a la de la luz? [Entrada al laberinto y selección de la opción (a) para iniciar la Ruta A].

E2: ¿En qué consisten las transformaciones de Galileo?

E3: ¿Por qué las transformaciones de Galileo son inadecuadas para describir objetos en movimiento con velocidades cercanas a la de la luz?

E4: ¿Qué implica el segundo principio de relatividad especial según el cual las expresiones de las leyes de la Física son las mismas en todo sistema de referencia inercial?

E5: ¿Cuáles son las ecuaciones para la transformación relativista de la velocidad?

E1: [Terminación de la Ruta A e inicio de la Ruta B cuando se selecciona la opción (b)].

E6: ¿En qué consistió el experimento de Michelson y Morley y que implicaciones tuvo?

E7: ¿Qué significa la dilatación del tiempo y en qué fenómeno se ha observado experimentalmente?

E8: ¿Qué significa la contracción de la longitud y en qué fenómeno se ha observado experimentalmente?

E1: [Terminación de la Ruta B e inicio de la Ruta C cuando se selecciona la opción (c)]

E9: ¿En qué consiste la paradoja de los gemelos?

E10: ¿Cómo se explica la conversión de masa en energía?

E11: [Salida del laberinto].

A continuación damos un ejemplo ilustrativo de las dos primeras estaciones, primero indicamos la versión descontextualizada (Vd) y luego una posible versión contextualizada (Vc).

Para la estación de entrada E1 señalamos las tres opciones que permitirán iniciar cada una de las tres Rutas A, B o C y para la estación E2 presentamos tres opciones de respuesta y los contenidos de los dos kioscos de información por donde será necesario pasar si se ha tomado una opción con un error conceptual o con un error procedimental. Las instrucciones correspondientes se indican con letra cursiva.

ESTACIÓN E1

Vd: ¿Cuál es el límite de validez de la mecánica newtoniana respecto de sistemas cuya velocidad es cercana a la de la luz?

Vc: Margarita es una Física experimental que trabaja en un acelerador de partículas y está preocupada por saber hasta dónde funciona lo que sabe de mecánica newtoniana respecto de las características del espacio y del tiempo; necesita describir el movimiento de partículas como los electrones cuando son acelerados a velocidades cercanas a la de la luz.

OPCIÓN A: ir a la estación E2 para iniciar la Ruta A.

OPCIÓN B: ir a la estación E6 para iniciar la Ruta B.

OPCIÓN C: ir a la estación E9 para iniciar la Ruta C.

ESTACIÓN E2

Vd: ¿En qué consisten las transformaciones de Galileo?

Vc: El detector de electrones con el que trabaja Margarita está montado sobre una plataforma; tal aparato le permite detectar la velocidad v_e de un haz de electrones que son producidos por un cañón que también está montado sobre la misma plataforma. Si la plataforma se mueve con una velocidad v_p ¿cómo será la velocidad del movimiento del haz de electrones para su colega Javier, quien se encuentra parado en el piso del laboratorio? (Los vectores de velocidad v_e y v_p tienen magnitudes v_e y v_p , respectivamente).

OPCIÓN A

Cuando el movimiento del haz de electrones y el de la plataforma son en la misma dirección, la velocidad de observación de Javier es la suma algebraica de las magnitudes de las velocidades $v_e \pm v_p$, según que los movimientos sean en el mismo sentido o en sentidos contrarios. [Respuesta correcta, ir a la siguiente estación (E3)].

OPCIÓN B

La velocidad con la cual Javier observa el haz de electrones será el vector resultante $v_e \pm v_p$, en donde el signo positivo corresponde al caso en que ambas velocidades tengan el mismo sentido y el signo negativo cuando son en sentidos contrarios [Respuesta con un error conceptual, ir al kiosco Kc2].

Información en Kc2: El signo positivo o negativo en la suma algebraica de las magnitudes de las velocidades v_e

Laberinto conceptual como instrumento de evaluación en Física y v_p corresponde a que los sentidos del movimiento son iguales o son opuestos, cuando la dirección del movimiento del haz de electrones es la misma que la del movimiento de la plataforma. Las transformaciones de Galileo suponen un tiempo y un espacio absolutos que no cambian al modificarse el sistema de referencia. [Regresar a E2 y seleccionar otra opción].

OPCIÓN C

Para Javier, las tres componentes de la velocidad de observación serán tales que $(v_e)_x \pm (v_p)_x$, $(v_e)_y \pm (v_p)_y$ y $(v_e)_z \pm (v_p)_z$, según que los movimientos sean en sentidos iguales o en sentidos contrarios. [Respuesta con un error procedimental, ir al kiosco Kp2].

Información en Kp2: El principio de superposición se aplica a la suma algebraica de las magnitudes de las componentes de las velocidades que tienen la misma dirección. Las transformaciones de Galileo indican que sólo cambia la componente en la dirección del movimiento; esta dirección debe ser la misma para el haz de electrones y para la plataforma, aunque puedan ser en el mismo sentido o en sentidos contrarios.

Por otra parte, las magnitudes de las componentes de las velocidades en las dos direcciones mutuamente perpendiculares a la dirección del movimiento son las mismas en el sistema de la plataforma donde está Margarita, el sistema que se encuentra en movimiento relativo respecto del laboratorio, y en el sistema en reposo del laboratorio en donde está Javier. [Regresar a E2 y seleccionar otra opción].

VI. LABERINTO DE RELATIVIDAD GENERAL

El empleo cada vez más frecuente de computadoras en enseñanza y aprendizaje, el surgimiento de tendencias didácticas con enfoque ciencia-técnica-sociedad (CTS) y el incremento de investigaciones educativas como las de Amadeu & Leal (2013) [10] o la Flores (2013) [11], permitieron el diseño de laberintos conceptuales hechos con y para computadora. Este es el caso del laberinto de relatividad general.

En este laberinto las estaciones ya no están numeradas, como sucede en el laberinto de gravitación, porque ahora éstas y los corredores se han relacionado mediante hipervínculos.

Se presenta en un documento de varias cuartillas elaborado en Word y mediante 'control clic' se pasa a diferentes lugares del mismo archivo. Además, en los kioscos donde se provee de información, adicionalmente a un breve escrito, hay vínculos para que los estudiantes revisen videos en internet y puedan valorar sus respuestas.

Se parte de un problema inicial que considera las aportaciones de Galileo Galilei sobre la caída de una esfera al rodar por un plano inclinado. Ésta es una situación ya conocida por los alumnos de bachillerato que abordan el aprendizaje de Relatividad General, ya que este contenido se presenta en los programas de estudio en semestres posteriores a la revisión de Mecánica Clásica donde el trabajo del italiano es punto de partida. El enfoque didáctico

es partir de ideas ya conocidas por los estudiantes para que, con base en ellas, se articulen nuevas ideas.

La situación inicial plantea la comparación de la relación distancia-tiempo para una esfera que cae por un plano inclinado con otra análoga, pero que cae por un plano inclinado ubicado en una nave espacial que viaja fuera de la Tierra.

Mediante el paso por el laberinto, los estudiantes identifican las principales ideas de la relatividad general (principio de covarianza, principio de equivalencia, y curvatura de un rayo de luz por efecto de un campo gravitatorio), para concluir que en ambos casos (en la Tierra y en la nave espacial fuera de ella), existe una relación de

proporcionalidad directa entre la variable de distancia y la del tiempo, ya que la descripción de los fenómenos naturales es la misma sin importar el sistema de referencia o su estado de movimiento.

En este laberinto se procuran situaciones cercanas a los estudiantes, como platicar por Skype con un compañero de clase para hacer la tarea, y en torno a este contexto se entrelazan cuestiones en las que se plantea el manejo de contenidos específicos, que abordadas de manera aislada pueden carecer de significado. Por ejemplo, en la Tabla IV se presenta una de las estaciones por las que debe pasar el estudiante y donde se pregunta sobre ideas muy precisas de la relatividad general.

TABLA IV. Ejemplo de una estación.

En la Teoría de Relatividad General los campos gravitacionales son muy importantes porque sus efectos se equiparan con los efectos de sistemas acelerados, ¿cuál es el origen de los efectos gravitacionales (o curvatura espacio-tiempo) de acuerdo con esta teoría?

- La masa de los cuerpos.
- La masa y la energía de los cuerpos.
- La masa, la energía y el impulso de los cuerpos.

La posibilidad de emplear computadora e internet influyeron en el diseño de este laberinto. A diferencia de lo que ocurre con el laberinto de gravitación donde los kioscos de información son breves, en mayor cantidad y se encuentran diluidos en las estaciones, en el de relatividad general éstos son más extensos, muy definidos y con vínculos a internet.

Los kioscos en este laberinto son nueve y sus contenidos son:

1. Curvatura de los rayos de luz.
2. Corrimiento al rojo.
3. Agujeros negros.
4. Cosmología y Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés Global Positioning System).
5. Relación d-t en planos inclinados.
6. Principios de relatividad especial y general.
7. Principio de equivalencia.
8. Relatividad general.
9. Época dorada de la relatividad general.

Otra diferencia importante que se logra con el empleo del equipo de cómputo y que por supuesto se utiliza en el laberinto de relatividad general, es la inclusión de imágenes a color. Esto hace que la tarea sea más agradable visualmente y sea menos tediosa.

Cabe hacer mención que el tratamiento de contenidos no profundiza en detalles como el espacio de Minkowski, coordenadas gaussianas o el empleo de cálculo diferencial/integral. Solamente se pretende acercar a los estudiantes a las ideas relevantes de esta teoría de una manera atrayente e interesante y así promover el gusto por el aprendizaje de esta ciencia.

El laberinto de relatividad general se encuentra disponible en: <http://comcol.pbworks.com>.

VII. CONCLUSIONES

Se presentan en tres niveles: construcción de laberintos conceptuales, aplicación con estudiantes y consecuencias para la enseñanza y el aprendizaje de la Física.

Construcción:

- El diseño de laberintos hace que los profesores analicen los contenidos desde una perspectiva que implica precisar sus conceptos, jerarquizarlos e identificar las formas en que se pueden articular para su aprendizaje. Por ello este diseño obliga a que el profesor trascienda su conocimiento de Física para llegar a reflexionar sobre la Física y sobre su enseñanza.
- Los laberintos se pueden diseñar para ser resueltos sólo con papel y lápiz, o con el uso de recursos digitales. El profesor puede elegir el formato de diseño en función de los medios disponibles.
- El empleo de recursos digitales favorece la estructuración de laberintos conceptuales, además la posibilidad de tener acceso a internet para consultar textos, audios, videos y simulaciones da mayor riqueza y versatilidad a la información propuesta en los kioscos.

Aplicación:

- Se sugiere explicar la forma de dar solución al laberinto y ejemplificar la toma de decisiones en la primera estación, ya que la solución de este tipo de instrumentos no es frecuente.
- La aplicación de los laberintos se sugiere durante la revisión del tema correspondiente, justo como evaluación formativa.
- La solución de laberintos conceptuales puede hacerse en clase o como trabajo extra clase, de manera individual o en equipo.

- Un laberinto conceptual puede ser resuelto en más de una ocasión por los estudiantes al seguir diferentes caminos, oportunidad excelente para revisar contenidos desde otros puntos de vista y aprender.
- Por las características del laberinto de relatividad general no es posible registrar la ruta que sigue el estudiante. Si se trasladaran estos contenidos a otro recurso técnico (como Macros), se podría obtener este registro de manera automática.

Consecuencias:

- El análisis de la ruta que sigue un estudiante al resolver un laberinto proporciona información sobre los aspectos en los que tuvo problemas durante su aprendizaje. Esto se hace evidente porque elige una respuesta incorrecta y debe regresar para reflexionar y elegir otra respuesta. Este análisis también proporciona información sobre la estrategia de enseñanza, que puede tener énfasis en el desarrollo de procedimientos experimentales o teóricos, por ejemplo.
- El profesor que construye un laberinto conceptual mejora el manejo que hace de los contenidos que enseña.
- El estudiante que resuelve un laberinto conceptual consolida lo aprendido en clase, identifica aquello que no sabe muy bien y lo mejora, distingue lo que no sabe e incorpora información, y reconoce sus errores y los corrige.

REFERENCIAS

[1] Jiménez, E., *Desarrollo de habilidades metacognitivas en la solución de problemas de mecánica: Caso Colegio de*

Laberinto conceptual como instrumento de evaluación en Física Bachilleres. Tesis inédita de doctorado, Universidad Pedagógica Nacional, Ciudad de México, México (2004).

[2] Hierrezuelo, J. & Montero, M., *La ciencia de los alumnos.* Distribuciones Fontanamara, México, 2002).

[3] UNAM, *Physlet del inventario del concepto de fuerza*, (s. f.). Disponible en: http://hp.fciencias.unam.mx/Fisica/Laboratorio_de_Mecanica/icf/. Consultado: 12 de septiembre de 2014.

[4] Aslanides, J. S. & Savage, C. M., *Relativity concept inventory: Development, analysis and results*, Physical Review Special Topics-Physics Education Research **9**, 010118 (2013). DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.9.010118.

[5] University of Colorado Boulder, *Phet Interactive simulations*, (s. f.). Disponible en: <https://phet.colorado.edu/es/simulations/category/physics>. Consultado: 10 de agosto de 2014.

[6] Stewart, I., *El laberinto mágico. El mundo a través de ojos matemáticos*, (Deakontos Bolsillo, Barcelona, 2001).

[7] Alvarenga B. & Máximo, A., *Física General*, (Harla, México, 2004).

[8] Hewitt, P., *Física conceptual*, (Addison Wesley Longman, México, 1999).

[9] Tippens, P. E., *Física: Conceptos y aplicaciones*, (McGraw Hill, México, 2007).

[10] Amadeu, R. & Leal, J. P., *Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la Física*, Enseñanza de las Ciencias **31**, 177-188 (2013). ISSN: 2174-6786.

[11] Flores, A., *Uso del enfoque CTS para la enseñanza de la Física en el área de las Ciencias Biológicas y de la Salud*, Tesis inédita de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México (2013).

O processo do conhecimento na relação física e a filosofia



Wanilce do Socorro Pimentel do Carmo^{1,2}, Josefina Barrera Kahlil²,
Ligio A. Barrera Kahlil³

¹Faculdade Metropolitana de Manaus-FAMETRO, Manaus-Amazonas-Brasil.

²Universidade do Estado do Amazonas UEA, Manaus-Amazonas-Brasil.

³Universidade de Matanzas, Cuba.

E-mail: Pimentel_wan@hotmail.com

(Recibido el 23 de Noviembre de 2015, aceptado el 28 de Abril de 2016)

Resumo

O conhecimento, como processo sócio histórico da atividade criadora dos homens que forma do seu saber sobre a base que surge dos fins e ações das ciências humanas, e requer uma sólida base filosófica. O científico geralmente possui diferentes maneiras e manifestações, que atuam como um dos critérios da eficiência da filosofia e de sua utilização da ciência contemporânea. A física está relacionada com a filosofia, porém ambas ciências contribuem com a gestão do conhecimento científico da atualidade.

Palavras chave: Filosofia, Física, Conhecimento científico.

Abstract

Knowledge, like socio-historical process the creative activity of men who shape his knowledge about the base that comes purposes and actions of the human sciences, and requires a sound philosophical basis. Scientific different ways usually possesses and demonstrations, acting as one of the criteria efficiency of philosophy and its use of contemporary science. Physics is related to philosophy, but both sciences contribute to the management of scientific knowledge today.

Keywords: Philosophy, Physics, Scientific knowledge.

PACS: 01.40.-d, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUÇÃO

Na filosofia e as formas de regularidades lógicas aparecem como formas de regularidades universais como em qualquer processo natural e sócio histórico que servem na reprodução teórica dos objetos no desenvolvimento real.

A filosofia desenvolvida embasada na compreensão de seu papel objetos e tarefas no progresso da cultura humana constituem um poderoso instrumento de conhecimento e de atividades dos homens e tem um papel importante no desenvolvimento do conhecimento e da prática.

A física e a ciência sobre as propriedades e leis do movimento das partículas materiais das substâncias e do campo sobre as estruturas dos átomos das interações gravitacional elétricas entre outras, dos processos moleculares conhecida hoje como física moderna que hoje em dia constituem um importante papel na tecnologia e na vida social.

II. FÍSICA X FILOSOFIA

No curso de toda sua história, a física está relacionada com a filosofia. Na época antiga os dados e hipóteses físicas
Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 10, No. 2, June. 2016

constituem partes integrantes dos distintos sistemas filosóficos. Os conhecimentos físicos na medida que foram aumentando não desenvolvimento da mecânica clássica serviu de ponto de partida para as novas ideias filosóficas do século XIX.

A filosofia da física pode resumir-se a um conjunto de reflexões sobre a interpretação a epistemologia e princípios da natureza e da realidade. Pois raramente as teorias físicas discutem os aspectos filosóficos, mas os filósofos utilizam a teoria e a física para sustentar suas ideias.

Isto foi relevante a partir das ideias de Newton e Kant [1], chegando até o século XX, quando a teoria da relatividade permitiu uma análise aprofundada de assuntos tradicionalmente como objeto de estudo da filosofia como por exemplo a natureza do tempo e do espaço.

A filosofia da física permite a crítica das ideias da física, mas não as contradiz.

Como exemplo de questões de filosofia e física estão:

- O propósito da física que é descrever a essência real dos fenômenos e da natureza da realidade e prediz formalmente as relações quantitativas e qualitativas entre fenômenos observados;

- A cosmologia física ou natureza do espaço, o tempo, origem do universo são problemas relacionados com certas existências de certas propriedades;
- A natureza da termodinâmica e da mecânica estatística, trata o problema do determinismo como o papel da informação e como deve ser interpretado e por acaso a probabilidade no contexto das teorias físicas;
- A mecânica quântica trouxe discrepância sobre a interpretação de determinado problema e do fato que certos fenômenos respondam as descrições probabilísticas.

A física e a filosofia se encontram hoje dentro dos currículos de quase todos os cursos de ciências exatas, mas antigamente a física ficava totalmente isolada da filosofia. No Renascimento a física e filosofia rompem os saberes independentes. Mesmo assim o papel da física continua aumentando como consequência do grande progresso científico e tecnológico que se produz de forma contínua durante os últimos séculos. No mesmo período a filosofia aparentemente fica estagnada com o desenvolvimento da física. Diante dessa realidade muitos cientistas chegaram a pensar que o conhecimento da física deveria ser um modelo para todo o conhecimento em qualquer área. Muitas vezes é possível escutar de físicos famosos falar de ideias filosóficas sobre o mundo, o ser humano, Deus de uma maneira “pretenciosa científica”, segundo os irmãos Moreno Ramos em seu artigo sobre física e filosofia (2002), em nossa reunião um bom profissional deve ter uma boa base filosófica e conhecimento da física, não interessa que o método utilizado sejam diferente e seus objetos de estudo diversos, esta relação pode propiciar um bom caminho para a busca da verdade. A leitura cotidiana relacionada com as novas descobertas da ciência e da tecnologia requer de um profissional que consiga entender e explicar aquilo que se lê e escuta.

A física é uma ciência descritiva ela diz como e quando acontece os fatos; porém o seu fim é de descobrir leis e princípios e reduzir o comportamento dos fenômenos para as regularidades comprováveis e repetidas. O objeto formal da filosofia é buscar o que o porque e o para que das coisas em sua dimensão aprofundada. O objeto material da filosofia tem um campo muito mais amplo do que a física. Esta última se limita a estudar as coisas por meio de suas medidas, portanto a filosofia se ocupa dessas coisas mas, analisando também as não mensuráveis como a beleza, a essência do ser humano e a bondade. Esta afirmação de Moreira Ramos não contradiz a relação de ambas as disciplinas, mas podemos perguntar. Não existe beleza, bondade e essência do ser humano nos fenômenos físicos?

Não podemos esquecer do momento subjetivo na demonstração da certeza de uma determinada proposição científica. Aquilo que pode ser claro e evidente para um científico pode não ser para outro. Não é suficiente descobrir a verdade tem que demonstra-la e argumenta-la, mas a história da ciência demonstra que isso não é fácil.

O método filosófico é um sistema específico, de princípios reguladores da atividade prática e cognitiva, um sistema de métodos e reações para alcançar objetivos propostos pelo homem.

O caráter científico do método filosófico não somente está relacionado com leis princípios e categorias mas da dialética, e também como orientação no estudo das relações do ser e do pensamento.

É perigoso tentar separar radicalmente a física da filosofia, pode parecer que dividimos a verdade, em verdades radicalmente distintas e sim relação mútua como afirma Moreira Ramos, com os quais nos concordamos. Analisemos alguns elementos comuns entre a física e filosofia. A estrutura da ciência se baseia no conhecimento adquirido pela via da observação e da experimentação, para prognostica como ajuda do raciocínio dedutivo e o conhecimento da natureza. A forma como o científico pesquisa se baseiam em suporte filosóficos comumente assumidos:

- A compreensão do mundo físico- consiste supostamente que a natureza pode ser compreendida racionalmente pelos seres humanos;

Essas leis proposições lógicas que permitem analisar porque três determinados padrões aparecem recorrentes e constantes.

Tanto o ser humano como os demais animais evoluíram e adquiriram uma inteligência mais ampla devido o tempo.

No entanto os animais somente alcançaram um grau de inteligência suficiente para fins imediatos de existência e procriação. Pelo contrário o homem desenvolveu uma inteligência discursiva por meio da comunicação cultural que lhes permitiu não somente satisfazer as funções biológicas elementares senão construir representações abstratas dos fatos e do mundo. As possibilidades da conceitualização abstrata é quase inclusiva do ser humano primatas e superiores.

As habilidades dos seres humanos lhes permitem fazer generalizações sobre padrões observados, e formular leis que direcionam os fenômenos naturais. É interessante o fato de que as leis naturais existem e que a capacidade intelectual do ser humano seja suficiente para entender.

- A objetividade do mundo físico consiste em supor que os fenômenos físicos são independentes da observação que realizam o sujeito ou seja existem intersubjetividade entre diferentes observadores: isto significa que existe subjetividade temporal e espacial, e dizer que existem relações e padrões constantes que não mudam de um lugar para outro e de um tempo para outro. As consequências de uma ação que acontece aqui são as mesmas que acontecem em outro lugar, sob a mesma ação e em condições semelhantes. O que acontece hoje será o mesmo que acontece amanhã se as condições são similares.

Não existe uma verdade absoluta sobre um fato ou fenômeno particular, independentemente das visões e interpretações que podemos ter sobre os mesmos fenômenos.

Um aspecto muito importante sobre este pensamento e que não pode existir duas verdades que sejam válidas simultaneamente e se contrapõe. A concepção filosófica de consistência implica que as proposições que são deduções lógicas e válidas das leis físicas são fatos que serão confirmados pelas observações experimentais.

III. FILOSOFIA DA CIÊNCIA

A filosofia da ciência ocupa-se de saber como desenvolve, avaliam e mudam as teorias científicas, e se a ciência é capaz de descobrir a verdade das entidades ocultas e os processos da natureza. Alguns cientistas tem mostrado interesse pela filosofia da ciência e outros como Galileu, Isac Newton e Albert Einstein, fizeram importantes contribuições. Muitos cientistas ficaram satisfeitos deixando a filosofia da ciência aos filósofos, e a partir do exposto tem continuidade fazendo “ciência” em vez de dedicar mais tempo a pensar como se faz a “ciência”

Entre os filósofos a filosofia da ciência sempre tem sido um problema, na cultura ocidental, entre os cientistas mais importantes anteriores ao século XX destacam-se Aristotles, Rene Descartes, Jonh Locke, David Hume, e Emanuel Kant e Jonh Stuart. Grande parte da filosofia da ciência é indissociável, da epistemologia e da teoria do conhecimento um tema considerado importante por quase todos os filósofos.

IV. ALGUMAS IMPLICAÇÕES FILOSÓFICAS

Atualmente tem sido valorizado o papel da filosofia e da física que a mesma havia se ocupado da natureza do tempo e do espaço a matéria e as forças. Por meio da historia podemos analisar que o conceito do universo uma interpretação mística a uma forma racional. Durante o desenvolvimento histórico da física ela havia se movimentado entre duas ideias contrárias:- De confiança e segurança entre os seus próprios postulados;
-De incerteza nos resultados alcançados

A primeira interpretação do universo racional foi feita pelos gregos no século IV A.C. com a proposta da proposta Deuclidiana e foram desenvolvidas ao redor delas outras series de teorias de grande valor. Alguns filósofos gregos sugeriam que a teoria esta composta de minisculos elementos básicos indivisíveis chamados átomos que a terra esférica e que gira junto com o resto dos planetas ao redor do sol. Muitos desses pensamentos foram comprovados pelos cientistas da época. Ao passo que o pensamento científico grego caminhava para experimentação e análise no ocidente, traz a queda do império romano o pensamento científico estava submetido a autoridade religiosa. No ocidente a partir do XV alguns intelectuais europeus trazem alguns pensamentos gregos e as suas ideias científicas acabaram alterando a cultura universal de maneira transcendente.

- Galileu Galilei, Nicolau Copernico e Kepller trabalharam o conceito do universo e do heliocentrismo. Este tema considera que a terra é esférica e girando ao redor do sol.

Renne Descartes e Isaac Newton colocam a ideia de que os objetos estão em repouso e ficam assim ao mesmo que uma força os movimente (lei da inércia). E os que se movem o fazem em linha reta a mesmo que uma força física ou gravitacional os desviem.

-A descoberta das leis de conservação da quantidade de movimento e a energia cinética levaram ao principio de que

O processo do conhecimento na relação física e a filosofia a matéria e indestrutível e a energia nem se cria e nem se destrói somente se transforma.

Para a filosofia natural dos séculos o espaço consta de três dimensões e uma varia denominada tempo.

La Place, chegou a afirmar o determinismo científico: a posição e o estado futuro de qualquer objeto é previsível aplicando as leis da física.

Todas essas ideias foram aceitas até final do século XIX e constituíram o núcleo filosófico da teoria clássica da física. No final do XVIII o mundo científico pensava que tudo já havia sido descoberto foi uma época do fazer científico. Tudo era válido já que todas as coisas e fenômenos foram conceitualizados e podiam fazer deduções logicamente consistentes. Do ponto de vista filosófico este conceito é clássico e a força e trajetória dos corpos são medidos e previsíveis. As ideias básicas da teorias clássicas são as seguinte:

Espaco: a geometria e o espaço, o espaço e ponto de referencia que define a posição dos objetos, o tempo, o tempo e o parameto absoluto para todos os observadores e o mesmo sistema de referencia.

O tempo é um fluxo continuo desde o passado até o futuro A velocidade com que se move um objeto no espaço esta determinada com relação

Materia é um elemento que ocupa um lugar no espaço e no tempo e esta formada por átomos idivisives

A posição de um corpo que e definida pelas equações da geometria euclidiana.

A matéria é indestrutível;

Força: Um corpo fica em repouso ou em movimento não existem forças que atuam sobre eles

A luz o som e as radiações emanam da matéria dentro do espaço. Existe sempre uma causa para um evento dado

Os corpos matérias se atraem com uma força que são diretamente proporcionais a sua massa e inversamente proporcional ao quadrado da distancia que a separam.

A força da gravidade se transmite no vácuo de forma instantânea

Outras forças como as elétricas são proporcionais ao produto de varias formas intrinsicas (carga elétrica) e decrescem segundo a lei inversal do quadrado

Como foi falado anteriormente a proposta é de Euclides e o de Newtom é simples elegante e não requer matemáticas complicadas para interpretá-la.

No final do XVIII começam a aparecer certos filósofos que começam a questionar diferentes conceitos da física: o primeiro assunto que foi a indefinição do conceito de espaço, se a luz se transmite no espaço e os corpos estão delimitados por este, e a velocidade é a mudança de posição de um objeto no espaço, então o espaço deve existir como entidade independente, por outro lado se o universo não tiver objetos materiais será que, existiria o espaço? Se o universo é finito este termina onde não existe a matéria ou onde já não tenha o espaço. E como pode existir um lugar onde não há espaço?

Todas estas ideias metafísica colocaram em um grande conflito a física e a filosofia, mas se o conceito de espaço era preocupante para os cientistas o conceito de tempo era ainda pior. Nossa intuição nos leva a pensar que o que aconteceno espaço deve acontecer dentro do tempo, o que aconteceria se

em nosso universo a matéria desaparecesse por um instante e reaparecesse segundos depois? O tempo pararia ou continuaria normalmente? Que aconteceria com o tempo se a força dos movimentos congelasse por um instante? Notariamos a diferença quando tempo voltasse ao normal? Pensemos que sem movimento não temos noção do passo do tempo, por outro lado as coisas que existiram no passado pareceriam que não tivessem existido. E por último as coisas que acontecerão no futuro teriam uma qualidade diferente das que existem agora.

As discussões chegaram a um clima no debate entre Leibniz e Newton onde apareceram duas teorias contrárias relacionadas com o espaço e o tempo. Leibniz desenvolveu uma descrição do espaço e do tempo que apresentava uma teoria onde podia negar-se o espaço e o tempo, ou seja, um tipo de ser superior que explica todas as coisas porém das coisas matérias do dia a dia

O espaço segundo Leibniz não contém os objetos ou seja eles existem por que os objetos é que os criam.

No caso do grande físico Newton considera o espaço e o tempo como algo mais com relações espaciais e que o movimento dos corpos está definido por sua velocidade; e que este é um parâmetro absoluto e que depende da relação com outros corpos

Mesmo que existam durante muito tempo este questionamento sobre o universo não foram obstáculos para o desenvolvimento da ciência e da filosofia porque as objeções eram de ordem filosófica e poucos se interessam por estas disciplinas.

No final do século XIX o mundo científico começa a sentir muitas incertezas, algumas ideias que eram dadas por certas ficaram contraditórias

Em 1881 dois físicos norte americanos Michelson e Morley realizaram um experimento na cidade do EUA onde mediram a velocidade de um raio de luz na direção do movimento da terra ao redor do sol e no sentido contrário obtiveram os mesmos resultados. O resultado foi inesperado a velocidade da luz era sempre a 298,085 km/s independente da fonte e do observador, isso demonstrava que a terra era o centro do universo ou as teorias clássicas eram falsas. As teorias clássicas do movimento não coincidiam com a realidade, para explicar este fato optou-se pela teoria corpuscular, também se pensou que a terra em seu movimento arrastava ao éter que a rodeava. Todas essas explicações resultavam em falsas não restavam outras alternativas a realidade contradizia a realidade. Em 1905 a brilhante proposta de Albert Einstein resolveu o problema “a luz se movimenta em velocidade constante independente da velocidade do observador, se um observado viaja de um ponto A na direção de um raio de luz a uma velocidade 1500 a velocidade do raio o resultado dará 298,085km/s e não 198,085 km/s como deveria obter-se [2].

A única maneira de resolver este conflito era supor que o tempo não é a mesma para ambos observadores. De fato, não é a mesma para ninguém o que implica que não pode ser definido a simultaneidade dos movimentos. Uma afirmação desta natureza nos pode colocar em conflito na vida diária podemos observar que um objeto que cai ao chão a nossa esquerda e que cai a nossa direita estão sincronizadas

no tempo. E que um observador que se movimenta em um carro o fenômeno pareceria o mesmo. Isto pode explicar-se porque a diferença de tempo somente é perceptível a velocidades muito altas e não nas velocidades do dia a dia. O mesmo aconteceu para os marinheiros da idade média que escutavam com temor que a terra era esférica e se perguntavam por que as pessoas que estão do outro lado não caíam para baixo

Foi somente a substituição dos conceitos para cima e para baixo pelos conceitos da gravidade que permitiu a compreensão pelos novos estados das coisas.

Acontece a mesma coisa com o universo de Albert Einstein

Os supostos básicos dessa interpretação relativista do universo são a seguinte [2]:

Relação com o tempo

- tempo é uma variável não absoluta não pode determinar-se variáveis entre os eventos, a velocidade de um corpo não existe nem ponto de referência para poder medi-la.
- Aceleração absoluta de um corpo se existe porque ela é medida com relação a si mesma

Em relação a força:

- A gravidade é sempre atração;
- A transmissão da força de gravidade acontece a velocidade da luz
- A gravidade pode ser interpretada como a que rodeia os corpos

Se nós estivéssemos no espaço onde não há atração dentro de um foguete que se move de $9,8\text{m/s}^2$ sentiríamos uma atração de gravitacional igual que estivéssemos na terra.

A forma de todas as trajetórias da luz depende da curvatura do espaço.

IV. IMPLICAÇÕES FILOSÓFICAS DA TEORIA QUÂNTICA

Se a teoria da relatividade dos conceitos Newtoniano de espaço e tempo e, portanto, precisou da relação filosófica destes conceitos, outros conceitos dados pelo determinismo que deram inalterados até o surgimento da mecânica quântica, na interpretação de Kopenhagen introduz o conceito de acaso de maneira intrínseca e afirma explicitamente que quando é realizada uma medição sobre um sistema quântico este fica inalterado [2, 4].

V. CONCLUSÃO

Estas observações estão embasadas em referências dos cientistas clássicos tendo em vista muitos pontos de vista em comum e outras contraditórias. É importante deixar explicitamente que das ciências exatas e tecnológicas o mais atualizado possível com o conhecimento científico e a filosofia.

Desta maneira a relação interdisciplinar física e filosofia tem pontos de contatos importantes para a compreensão

científica dos objetos e fenômenos na realidade sem desvincula-lo de seu entorno socio histórico.

VI. REFERENCIAS

[1] Alexander, H., *The Leibniz Clarke Correspondence*, (Manchester University Press, Manchester, 1956).

O processo do conhecimento na relação física e a filosofia

[2] Einstein, A., *Física e Realidade*, Rev. Bras. Ens. Fis. **28**, 9 (2006), trad. de S. R. Dahmen.

[3] Gonzales Porta, M. A., *A Filosofia a Partir de seus Problemas* (Edições Loyola, São Paulo, 1992), p. 131

[4] Davies, P., *The Physics of Time Asymmetry*, (University of California Press, Berkeley, 1974)

Evolución histórica del concepto inercia. Primera parte



J. M. Rivera-Juárez¹, J. Madrigal-Melchor¹, E. Cabrera-Muruato²

¹Unidad Académica de Física, Universidad Autónoma de Zacatecas,
Calzada Solidaridad esq. Paseo a la Bufa s/n, CP 98060, Zacatecas, México.

²Unidad Académica Preparatoria, Universidad Autónoma de Zacatecas,
Zacatecas, México.

E-mail: jmriviera@fisica.uaz.edu.mx

(Recibido el 30 de Junio de 2015, aceptado el 2 de Abril de 2016)

Resumen

El principio de inercia constituye uno de los pilares fundamentales de la física clásica, en cuyo enunciado están postulados todos los cambios esenciales en la concepción del mundo que marcó el fin de la física medieval y renacentista del siglo XVII. Desde entonces, el concepto –y el término mismo– de “inercia”, se han asimilado de tal manera que han llegado a ser parte del lenguaje cotidiano, y su utilización se ha extendido a otros campos del conocimiento para designar, en general, la resistencia al cambio. Con todo esto, el concepto de inercia es mucho más complejo de lo que puede parecer a primera vista, y tras la aparente sencillez de su enunciado se encuentra la prolongada y fecunda historia de su formación. Las grandes etapas de la evolución del concepto de inercia van unidas a los diversos modos de entender la naturaleza del movimiento –ya sea como movimiento natural, cualidad o fuerza impresa y estado inercial de movimiento–. De esta manera, la historia del pensamiento físico, se nos presenta en tres grandes etapas. La primera etapa es la física aristotélica, la segunda etapa está constituida por la física del ímpetus, finalmente, la tercera etapa es la física matematizada. En este trabajo, analizaremos la evolución del concepto inercia desde las primeras críticas de Hiparco de Rodas, pasando por la teorización en la física aristotélica al movimiento de proyectiles, hasta la física del ímpetus, dejando para una segunda parte su formulación definitiva por Newton en el siglo XVII.

Palabras clave: Historia de la Ciencia, Inercia, Física.

Abstract

The principle of inertia constitutes one of the fundamental pillars of Classical Physics, which states all the essential changes in the understanding of the universe that marked the ending of Medieval and Renaissance Physics of the 17th century. Since then, its own definition and conceptualization have been assimilated to become household terms and its use has extended to other areas of knowledge, generally to describe an opposition to change. With all this, the concept of inertia is much more complex than what it seems at first sight and behind its seemingly simple statement, one can find the long and fertile history of its conception. The great stages in the evolution of the concept of inertia are tied to the different ways in which the nature of movement is understood –be it natural movement, quality and force impressed and the inertial state of movement. In this manner, the history of physical thinking comes to us in three large periods. The first period is the Aristotelian Physics, the second one constitutes the physics of impetus, and finally, the Mathematical Physics. In this work, we are going to analyze the evolution of the concept of inertia from the first critics of Hiparco of Rodas, through theorizations in Aristotelian Physics of the movement of projectiles, to the physics of impetus, leaving its final formulation by Newton in the 17th century to a second part.

Keywords: History of Science, Inertia, Physics.

PACS: 01.65.+g, 01.40.-d

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

El principio de inercia constituye uno de los pilares fundamentales de la física clásica, en cuyo enunciado están postulados todos los cambios esenciales en la concepción del mundo que marcó el fin de la física medieval y renacentista del siglo XVII. Desde entonces el concepto y el término mismo de inercia, se han asimilado de tal manera que han llegado a ser parte del lenguaje cotidiano y su utilización se ha extendido a otros campos del

conocimiento, para designar en general la resistencia al cambio. Con todo esto, el concepto de inercia es mucho más complejo de lo que puede parecer a primera vista, y tras la aparente sencillez de su enunciado se encuentra la prolongada y fecunda historia de su formación.

Las grandes etapas de la evolución del concepto de inercia van unidas a los diversos modos de entender la naturaleza del movimiento –ya sea como movimiento natural, cualidad o fuerza impresa y estado inercial de movimiento–. De esta manera, la historia del pensamiento

J. M. Rivera-Juárez, J. Madrigal-Melchor, E. Cabrera-Muruato
físico desde Aristóteles a Newton, se nos presenta en tres grandes etapas.

La primera etapa es la física aristotélica, una física carente de formalización matemática, caracterizada por el empleo de tres principios fundamentales: el lugar natural, el movimiento natural –entendido como el proceso encaminado al reposo– y rechazo al vacío.

La segunda etapa está constituida por la física del ímpetus, una física que, a pesar de ser de origen griego, fue elaborado sobre todo en el siglo XIV en la escuela de París por Juan Buridán. Esta física investiga la causa del movimiento por medio del concepto de fuerza impresa, al que se da el nombre de ímpetus.

Finalmente, la tercera etapa es la física matematizada, fundada en el método de la nueva ciencia experimental, ideado por Galileo, Descartes y Newton. Se trata de una física basada fundamentalmente en los conceptos de movimiento inercial, espacio infinito y vacío.

En este trabajo analizaremos la evolución del concepto inercia desde las primeras críticas de Hiparco de Rodas, pasando por la teorización en la física aristotélica al movimiento de proyectiles, en el siglo II a. C. hasta la física del ímpetus, dejando para una segunda parte su formulación definitiva por Newton en el siglo XVII.

Como lo hemos señalado en trabajos anteriores, la Física no es el producto de la genialidad aislada que cambió el curso de la ciencia. Hay muchos ejemplos que confirman que la evolución de las ideas de la Física y la aparición de nuevas teorías no es una sucesión de obras debidas a genios aislados pasando por alto el papel de la colectividad en su proceso [1].

Los conceptos y teorías científicas no emergieron milagrosamente, sino que son el resultado de un proceso muy difícil de resolución de problemas y de contrastación rigurosa de hipótesis [2]. La evolución del conocimiento científico a lo largo de la historia, ha estado precedido de un enorme esfuerzo por parte de sus protagonistas fundamentales –los genios–, esfuerzo que en la mayoría de los casos significó la superación de obstáculos y el abandono de concepciones que exigieron un notable esfuerzo de penetración científica.

Este es –entre otros– el caso del principio de inercia. El principio de inercia no puede inferirse directamente de la experiencia, –no es posible observarlo directamente en la naturaleza– sino a través de una suposición –abstracción– que sea acorde con lo observado. Al respecto, Alexandre Koyré, uno de los más representativos historiadores de la ciencia, plantea lo siguiente.

“El principio de la inercia no surgió ya elaborado del pensamiento de Descartes o de Galileo, como Atenea de la cabeza de Zeus”, fue producto de un largo esfuerzo del pensamiento [3].

El principio de inercia es parte esencial del movimiento, el cual fue objeto de estudio desde la antigüedad. El primer estudio sistemático del movimiento corresponde a Aristóteles. Y fue la crítica a las teorías aristotélicas del movimiento, lo que constituyó el germen de la nueva ciencia del movimiento.

II. FÍSICA ARISTOTÉLICA

Se considera que el origen de la evolución teórica que condujo al enunciado del concepto de inercia, en la mecánica clásica, se encuentra en Aristóteles. La figura gigantesca de Aristóteles dominó la escena intelectual durante veinte siglos.

En particular, la crítica a sus planteamientos sobre el movimiento, que constituía el aspecto más débil de su doctrina, estuvo en el centro de la conceptualización que culminó con la formulación de las leyes del movimiento de Newton.

Según Aristóteles, el movimiento es un efecto que procede de la naturaleza determinada de un cuerpo. La naturaleza de los cuerpos depende, a su vez, de los elementos que lo componen. La característica principal del movimiento de un cuerpo formado por cualquiera de estos elementos –tierra, aire, agua y fuego– es la linealidad.

En el caso de los cuerpos en los que predomina la tierra, el movimiento lineal es descendente o de caída; y en el de aquellos en que predomina el fuego, el movimiento lineal es ascendente.

A diferencia de los cuerpos terrestres, para Aristóteles, los cuerpos celestes se componen de un elemento desconocido en la Tierra: el éter. Es propio de los cuerpos compuestos por el éter el ser inalterables e incorruptibles. A diferencia del movimiento de los cuerpos mundanos, cuya naturaleza los condiciona a realizar movimientos lineales y transitorios, el movimiento de los cuerpos celestes es circular y perpetuo. Como se puede apreciar, la cosmología aristotélica se caracteriza por la separación entre el Cielo y la Tierra.

No fue sino hasta la llegada de Kepler y Galileo que se logró la unificación entre la física terrestre y la celeste.

Es precisamente en el cielo, donde se da el espacio más apropiado para el nuevo concepto de movimiento que estaba surgiendo: el estado de movimiento inercial.

En el cosmos aristotélico, no puede darse la conservación del movimiento, y menos aún, el movimiento inercial. En un espacio caracterizado por un centro y una periferia, en el que debe diferenciarse un mundo sublunar y un cielo, y donde los cuerpos tienen movimientos naturales propios según su naturaleza, es imposible afirmar que: “todo cuerpo tiende a permanecer en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, a menos que dicho estado cambie por la acción de fuerzas externas”.

Dentro de la física aristotélica el vacío no puede existir, Aristóteles niega rotundamente su existencia y plantea que para que el movimiento pueda darse, no es necesario en absoluto la existencia del vacío. Más aún, supone que el concepto mismo lleva a conclusiones absurdas: cuanto menos es la resistencia del medio, tanto mayor es la velocidad del cuerpo en movimiento; por consiguiente en el vacío, la resistencia es nula, la velocidad debe ser infinita, lo cual para él es imposible.

El mismo Aristóteles, al argumentar contra la existencia del vacío, rechazó la posibilidad de la conservación del movimiento, condición necesaria del movimiento inercial, como un contrasentido en el marco de su sistema teórico. Para

él, todo movimiento lleva aparejado un cambio de circunstancias, y en el vacío, uniforme y homogéneo, un cuerpo tendría siempre la misma relación con todos los lugares, por lo cual es imposible el movimiento en el vacío, e incluso la existencia misma del vacío es imposible.

¿Cómo puede haber un movimiento natural si no hay diferencias según el vacío y lo infinito? Pues en la medida en que sea infinito, no hay arriba, abajo, o centro; y en el vacío, arriba no se diferencia de abajo. En la nada no hay diferencias, y no las hay en el vacío, pero el movimiento natural es diferenciado, de manera que las cosas que existen naturalmente deben ser diferenciadas. Entonces, o no hay movimiento natural, o no hay vacío [...]. Además, [en el vacío] nadie puede decir por qué una cosa una vez puesta en movimiento se detendrá en algún punto; ni por qué se detendría aquí en lugar de hacerlo allí. De modo que una cosa se mantendría en reposo o se movería indefinidamente hasta que algo más fuerte se lo impidiera [4].

Newton, conocedor de este planteamiento, lo trajo a colación en uno de sus manuscritos como un antecedente de su Primera Ley del Movimiento [5]. El texto citado de Aristóteles, tiene importancia, no tanto por el enunciado de la Ley de Conservación del Movimiento, sino por su negación explícita en el contexto de la física y de la cosmología aristotélica. En cierta forma, Aristóteles definió desde entonces las condiciones del proceso de conceptualización, que llevaría a formular más adelante los principios de la conservación del movimiento y de la inercia. El enunciado de ambos principios, implicaría necesariamente la negación de las ideas que sobre el espacio, la materia y el movimiento había defendido Aristóteles.

La física aristotélica es incompatible con el principio de inercia, y en ella el movimiento y el reposo pertenecen a un estatus ontológico diferente: el reposo es un estado en el cual sí pueden permanecer los cuerpos, mientras que, el movimiento es un proceso mediante el cual el cuerpo se dirige al lugar natural que le corresponde, y por tanto, no puede permanecer en movimiento indefinidamente.

Todo cuerpo se desplaza en un lugar, según un particular tipo de movimiento. Algunos autores del siglo XIV sugirieron que, sólo en el vacío, libre de toda influencia perturbadora, los cuerpos alcanzarían su movimiento verdaderamente natural o esencial. La razón presentada era que, la resistencia del medio –que no existe en el vacío– es una perturbación accidental que obstaculizaría este movimiento esencial.

De este modo, los conceptos aristotélicos de movimiento natural y de lugar natural, venían a ser transformados en beneficio del concepto de movimiento esencial en el vacío. Este tipo de movimiento esencial de un cuerpo en el vacío, será llamado en el siglo XVII movimiento inercial. Pero el concepto medieval de ímpetus era un precedente de este movimiento inercial.

La doctrina aristotélica del movimiento presenta su lado más débil en la explicación de un fenómeno de diaria ocurrencia: el movimiento de los proyectiles. De acuerdo con dicha doctrina un cuerpo sublunar se mantiene en reposo o se dirige en línea recta hacia su lugar natural, a menos que actué sobre

él una fuerza exterior; pero un proyectil no lo hace y continúa moviéndose en la dirección en que ha sido lanzado, inmediatamente después de que ha cesado todo contacto con el elemento propulsor.

La solución propuesta por Aristóteles se basó en un oscuro razonamiento que convierte al medio en motor: el aire perturbado por el movimiento del cuerpo es la fuente del impulso que prolonga su movimiento; cuando la mano lanza un cuerpo, mueve, al mismo tiempo que el cuerpo, el aire que lo rodea; la parte del aire así movida empuja a la parte contigua, y ésta a una parte todavía más lejana, y cada una de estas partes del aire así movido, arrastra consigo el cuerpo en movimiento [6].

III. FÍSICA DEL ÍMPETUS

Fue justamente en la conceptualización del movimiento de los proyectiles, donde comenzó a desarrollarse la crítica a la doctrina aristotélica del movimiento, y de donde partieron finalmente, los conceptos que culminaron con la formulación del concepto de inercia y de la Primera Ley de Newton.

La explicación aristotélica del movimiento de los proyectiles fue criticada inicialmente en el siglo II a.C. por **Hiparco de Rodas**, el astrónomo en desacuerdo con el planteamiento aristotélico sobre el movimiento de proyectiles, quien explica la situación de post-lanzamiento de un proyectil de una manera totalmente diferente a la física aristotélica. Para él, el movimiento se da por medio de una fuerza, transmitida, al proyectil por el proyector. Esta fuerza absorbida por el proyectil, se extingue gradualmente a medida que el proyectil se mueve, le llamó fuerza impresa [7].

La noción de fuerza impresa trae consigo un elemento nuevo en las consideraciones sobre fuerza y movimiento, mientras que para Aristóteles la fuerza que impulsa un proyectil proviene del propio medio, siendo por lo tanto externa a él. Para Hiparco, la fuerza responsable de su movimiento es una fuerza interna “almacenada” en el proyectil [8].

Juan Filopón, recogió esta crítica y desarrolló la propuesta de Hiparco en la Alejandría del siglo VI [9]. Su crítica al planteamiento aristotélico del movimiento de los proyectiles se basó en el argumento de que, si el medio opone resistencia al movimiento de los cuerpos, no puede ser causa del mismo. En su solución a este problema, Filopón propuso que el instrumento de proyección imparte una potencia motriz al proyectil, y es esa fuerza impresa la que continúa moviéndolo [10].

Logró percibir la conservación de un movimiento sin un motor externo que actúe continuamente sobre el cuerpo, lo que constituyó un paso gigantesco en el análisis del movimiento.

A pesar de ello, la solución propuesta por Juan Filopón implica no la conservación del movimiento, sino la persistencia temporal de una fuerza motriz que mantiene el movimiento; lo que si bien constituye un avance respecto a Aristóteles, está basado aún en un concepto fundamental de la física aristotélica: el movimiento debe ser producido por una fuerza, y la velocidad del cuerpo en movimiento es

J. M. Rivera-Juárez, J. Madrigal-Melchor, E. Cabrera-Muruato
proporcional a dicha fuerza. Esta limitación fue una constante en la conceptualización del movimiento, salvo contadas excepciones, hasta bien entrado el siglo XVII.

Parece que fue el primero en demostrar en oposición a Aristóteles que el medio no podía ser la causa del movimiento en el caso del proyectil.

También, intentó expresar la fuerza cuantitativamente, diciendo que los cuerpos movidos por una fuerza determinada se trasladarían con velocidad inversamente proporcional a sus pesos; y que los cuerpos que se movían a una velocidad determinada recorrían, contra la resistencia del aire, distancias directamente proporcionales a sus pesos.

Esta concepción de fuerza impresa tiene un interesante desarrollo histórico. Fue un elemento fundamental en discusiones que se establecieron, principalmente a partir del siglo XII, sobre la existencia o no del vacío y de todo tipo de consecuencia que se derivan del posible movimiento de un proyectil en un medio sin resistencia. Parece también haberse convertido en un importante punto de referencia para la teoría del ímpetu de Buridán, en el siglo XIV.

También Galileo, en sus primeros estudios sobre el movimiento de proyectiles, hizo uso del concepto de fuerza impresa [11].

Las ideas revolucionarias de Hiparco y Filopón se pueden considerar como los primeros esbozos de una teoría alternativa a los planteamientos aristotélicos sobre el movimiento de proyectiles, que luego fue desarrollada por Buridán.

Por su parte, los filósofos árabes a partir del siglo XI, explicaron el movimiento de los proyectiles debido a la acción de una “fuerza prestada”, que tenía las características de una cualidad impartida por el proyectil, de forma análoga a como el calor es transmitido al agua por el fuego.

En esta línea de razonamiento *Ibn Sina* o *Avicena* –por su nombre latinizado– hizo un intento de cuantificación: a igual fuerza motriz, la velocidad es inversamente proporcional al peso [12], y –a diferencia de Juan Filopón, para quien la fuerza motriz desaparece progresivamente del proyectil hasta que éste se detiene– argumentó que en ausencia de obstáculos, la fuerza prestada y el movimiento “forzado” que producía persistirían indefinidamente.

Alrededor de 1320, *Francisco de Marchia*, concluyó que el movimiento o impulso de una fuerza heredada o fuerza impresa en el proyectil por el motor primario –bien sea la mano, la honda o el arco– no era concebida como una fuerza innata ni permanente; y al ser opuesta a las inclinaciones naturales del cuerpo, podía actuar solamente durante un tiempo limitado [13].

El concepto de movimiento de *Guillermo de Ockham*, es un movimiento que perdura en la medida en que no requiere una fuerza que mueva al objeto; y ello equivale a postular la conservación del movimiento.

... pues lo que se mueve en el movimiento de esta clase, después de la separación del cuerpo en movimiento del proyectil original, es el cuerpo movido por sí mismo y no por alguna fuerza en él o relativa a él... sería asombroso, ciertamente, si mi mano produjera alguna fuerza en la piedra por el mero hecho de que por medio del movimiento local se puso en contacto con la piedra [14].

La formulación del movimiento hecha por Ockham, al considerarlo como una relación que no requiere una causa eficiente continuada, implica la negación de cualquier fuerza, incluida la fuerza impresa, o cualquiera de sus variedades, para explicar el movimiento y con ello anticipa uno de los elementos básicos en la formulación del concepto de inercia: el principio de la conservación del movimiento.

Aun así, de esta concepción no es posible deducir la conservación de la velocidad uniforme en línea recta de los cuerpos, en ausencia de fuerzas externas, elementos ambos que constituyen la característica esencial del movimiento inercial.

Juan Buridán, al analizar el movimiento de los proyectiles propuso la teoría dinámica más influyente en los tres siglos siguientes, es el autor que presenta la versión más acabada de la teoría del ímpetus –o fuerza impresa en un móvil–. De acuerdo con esta teoría, la conservación del movimiento de los proyectiles puede ser explicada por una especie de impulso, ímpetus, que el motor imprime en el cuerpo movido. La exposición del problema y la solución propuesta se encuentran en su obra *Questiones super octo libros physicorum*:

Se pretende saber si un proyectil, una vez abandona la mano de quien lo arroja, sigue en movimiento por acción del aire o de cualquier otra causa [...]. Creo que tal pregunta es muy difícil de responder, pues Aristóteles, según mi parecer, no ha sabido resolver satisfactoriamente el problema [...]. Sostiene [en cierto momento] que el proyectil abandona con toda rapidez la posición que ocupaba y que la naturaleza, que no tolera vacío alguno, envía de inmediato el aire tras él para que llene el vacío creado. El aire desplazado de tal forma entra en contacto con el proyectil y le empuja hacia adelante. Este proceso se repite continuamente a lo largo de una cierta distancia [...].

Así pues, podemos y debemos afirmar que en la piedra, o en cualquier otro proyectil, se halla impreso algo que constituye la fuerza motriz del proyectil en cuestión. Evidentemente, tal suposición es mucho mejor que caer de nuevo en la afirmación de que el aire quiere continuar moviendo el proyectil ya que lo cierto es que parece resistirse a ello [...]. Debemos concluir que un motor, al mover un cuerpo, imprime en él un cierto ímpetus, una cierta fuerza capaz de mover este cuerpo en la dirección en la que lo lanzó el motor, sea hacia arriba o hacia abajo, hacia un lado o en círculo. Cuanto más rápidamente el motor mueve al mismo cuerpo, tanto más poderoso es el ímpetus impreso en él. Es por este ímpetus por lo que la piedra es movida después de que el lanzador deja de moverla; pero, a causa de la resistencia del aire y también a causa de la gravedad de la piedra, que la inclina a moverse en una dirección opuesta a la que el ímpetus tiende a moverla, este ímpetus se debilita continuamente. Por tanto, el movimiento de la piedra se hará continuamente más lento, y a la larga el ímpetus estará tan disminuido o destruido que la gravedad* de la piedra prevalece sobre él y mueve la piedra hacia abajo, hacia su lugar natural.*

IV COMENTARIOS FINALES

Creo que se puede aceptar esta explicación por qué las otras explicaciones no parecen ser verdaderas, mientras que todos los fenómenos están de acuerdo con ésta...[15, 16].

Es cierto que la fuerza motriz impresa conocida como ímpetus continuaba inscrita en la física aristotélica como una fuerza violenta que se oponía a la tendencia natural de los cuerpos hacia el reposo, pero esa fuerza no era ya producida por un motor externo sino que se encontraba en el propio cuerpo en movimiento. Buridán dio así un paso decisivo en la historia del pensamiento; el respetado principio aristotélico todo lo que se mueve debe ser movido por algo [17] había perdido su posición indiscutida hasta entonces.

La idea del ímpetus –tal como fue concebida y expuesta por Juan Buridán– constituía una solución a los problemas clásicos que surgían dentro del contexto de la dinámica aristotélica: el movimiento de los proyectiles, la aceleración de los cuerpos en su caída, la conservación del movimiento de los cuerpos celestes y terrestres [18].

La propuesta de Buridán fue un valioso intento de formulación cuantitativa que supera la noción de causa aristotélica: el ímpetus es concebido como una fuerza o poder poseído por el cuerpo sólo en razón de estar en movimiento, sin relación alguna con su naturaleza, su forma, o algún otro aspecto del cuerpo.

Las características básicas de la teoría del ímpetus tal como fueron planteadas por Buridán se mantuvieron prácticamente sin modificación hasta el siglo XVII.

En párrafos anteriores, señalamos que hubo que esperar la llegada de Kepler y Galileo, para que se lograra la unificación de las físicas celeste y terrestre. Es importante señalar que el primer intento de unificación fue realizado por Buridán, quien aplico la teoría del ímpetus no solo al movimiento –natural y violento– de los cuerpos terrestres, sino también al movimiento de los cuerpos celestes; idea que fue ampliada y profundizada por Nicolás Oresme, quien estableció de manera explícita la comparación:

Cuando Dios creó [los cielos], los dotó con una cierta cualidad y una cierta fuerza de movimiento de modo similar a como había dotado de peso a las cosas terrestres [19] (in *KCR*, 165).

Hacia finales del siglo XV, la dinámica del ímpetus, bajo cualquiera de las versiones comparable a la expuesta por Juan Buridán, había reemplazado a la dinámica aristotélica en las obras de los principales filósofos de la naturaleza.

La teoría del ímpetus formó parte de casi la totalidad de los argumentos planteados en la Edad Media y el Renacimiento en favor del movimiento de la Tierra. Aunque los teóricos medievales no llevaron a sus últimas consecuencias la unificación del Cielo y la Tierra bajo unas mismas leyes mecánicas, quedó abierto un amplio camino para llegar a la cabal comprensión de los movimientos terrestres y planetarios. Una de las riquezas de la física clásica sería precisamente la comparación de astros y proyectiles como cuerpos en movimiento. La formulación del principio de inercia sólo fue posible cuando Newton sometió al mismo criterio dinámico el movimiento de los astros y el lanzamiento de los proyectiles.

El interés de Buridán sobre nuevos problemas, el tratamiento novedoso de viejas cuestiones y el planteamiento de nuevas abstracciones, hizo avanzar la teoría del movimiento en dirección de la revolución científica del siglo XVII. Con anterioridad a Ockham y Buridán, Aristóteles y la experiencia cotidiana aseguraban que sólo perdura el reposo. Ockham, Cusa, Buridán y sus sucesores propusieron que, a menos que un cuerpo encuentre alguna resistencia o tenga inclinación a otros movimientos, también perdura el movimiento mantenido por el *ímpetus*, y con ello, así se mantuvieran en la tradición aristotélica, daban un importante paso en la formación de un concepto clave de la física clásica: el principio de inercia.

REFERENCIAS

- [1] Rivera-Juárez, J. M., Madrigal-Melchos, J., Cabrera-Muruato, E. y Mercado, C., *Evolución histórica del concepto fuerza*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **8**, 4001-4002 (2014).
- [2] Nersseian, N. J., *¿Should physicists preach what they practice constructive modeling in doing and learning physics?*, Science Education **4**, 203-226 (1995).
- [3] Koyré, A., *Estudios galileanos*, (Siglo XXI, México, 1981).
- [4] Aristóteles, *Physica*, s. IV a. C. (Hardie, R. P. & Gaye, R. K. (Trads.), In: *Physics, The Works of Aristotle, Great Books of the Western World*, (Enciclopædia Britannica, Chicago, 1952), p. 257-355.
- [5] Newton, I., *Fragment on the Law of Inertia*, 1687(?), In: Hall, R. & Boas Hall, M., *Unpublished scientific papers of Isaac Newton*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1962), p. 311.
- [6] Aristóteles, *Physica*, s. IV a. C. Hardie, R.P. & Gaye, R. K., (Trads.), *Physics, The Works of Aristotle, Great Books of the Western World*, (Enciclopædia Britannica, Chicago, 1952). p. 257-355.
- [7] Franklin, A., *Principle of inertia in the middle ages*, Am. J. Phys. **44**, 529-545 (1976).
- [8] Rivera-Juárez, J. M., Madrigal-Melchos, J., Cabrera-Muruato, E. y Mercado, C., *Evolución histórica del concepto fuerza*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **8**, 4601-4603 (2014).
- [9] Wohlwill, E., *Ein Vorgänger Galileis im 6. Jahrhundert*, *Physikalische Zeitschrift*, **7**, 23-32 (1924),
- [10] Gilson, E., *La Philosophie au Moyen Age*, (Payot, París, 1952). Versión española de Pacios A. y Caballero, S., *La filosofía de la Edad Media*, (Gredos, Madrid, 1985).
- [11] Peduzzi, L. O. Q. & Zylbersztajn, A., *La física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la Mecánica*, *Enseñanza de las Ciencias* **15**, 351-359 (1997).
- [12] Crombie, A. C., *Augustine to Galileo*, 1959, Bernia, J. (Trad.), *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo*, Vol. II, (Alianza Universidad, Madrid, 1974.) p. 56.

J. M. Rivera-Juárez, J. Madrigal-Melchor, E. Cabrera-Muruato

[13] Crombie, A. C., Augustine to Galileo, 1959, Bernia, J. (Trad.), *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo, Vol. II*, (Alianza Universidad, Madrid, 1974.), p. 62.

[14] Crombie, A. C., Augustine to Galileo, 1959, Bernia, J. (Trad.), *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo, Vol. II*, (Alianza Universidad, Madrid, 1974.), p. 65.

[15] Crombie, A. C., Augustine to Galileo, 1959, Bernia, J. (Trad.), *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo, Vol. II*, (Alianza Universidad, Madrid, 1974.), p. 69-72.

[16] Kuhn, T., *The Copernican Revolution*, 1957, Bergadá, D. (Trad.), In: *La Revolución Copernicana*, (Ariel, Barcelona, 1985). p. 166-167.

[17] Aristóteles, *Physica*, s. IV a. C. Hardie, R.P. & Gaye, R. K., (Trads.), *Physics, The Works of Aristotle, Great Books of the Western World*, (Enciclopædia Britannica, Chicago, 1952), p. 326.

[18] Minguez, C., *De Ockham a Newton: la formación de la Ciencia Moderna*, (Cincel, Madrid, 1989), p. 5.

[19] Kuhn, T., *The Copernican Revolution*, 1957, Bergadá, D. (Trad.), *La Revolución Copernicana*, (Ariel, Barcelona, 1985), p. 165.

Thermal diffusivity measurement by means of the hot wire technique



J. Guarachi¹, U. Nogal¹, J. Hernández Wong², A. Calderón^{1*}, E. Marín¹, J. B. Rojas Trigos¹, A. G. Juárez Gracia¹, R. Abdelarrague³ and R. A. Muñoz Hernández¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Av. Legaria # 694, Col. Irrigación, C.P. 11500, Ciudad de México, México.

²CONACyT-Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria. Legaria No. 694, C.P. 11500 Ciudad de México, México.

³Universidad Autónoma del Estado de Mexico, Blev. Universitario s/n predio San Javier, Atizapan de Zaragoza, Estado de México.

E-mail: jcalderona@ipn.mx

(Received 15 March 2016, accepted 27 May 2016)

Abstract

Approximate models for the temperature difference ΔT as a function of the time t in the heating and cooling stages measured with the hot wire technique are reported. It is shown that considering up to the third term in the power series development of the exponential integral leads to a significantly greater approximation to the expression for ΔT . The utility of the model for the heating stage is demonstrated by the adjustment to experimental results of magnesium oxide powder. Likewise, minimum values to be measured of the thermal diffusivity α are reported for the cases of a single needle and the dual probe and it is shown that α is smaller by two orders of magnitude for the probe of a needle than for the case of a dual probe, which gives greater amplitude to the application of this technique. Finally, the application of the model to the cooling stage shows that the model does not reliably reproduce the experimental points due to the importance at this stage of the effects of edges not considered in the development of the model.

Keywords: Heat transfer, thermal properties, hot wire technique, thermal waves.

Resumen

Se reportan modelos aproximados para la diferencia de temperatura ΔT en función del tiempo t en las etapas de calentamiento y enfriamiento medidos con la técnica del alambre caliente (hot wire). Se demuestra que el considerar hasta el tercer término en el desarrollo en serie de potencias de la integral exponencial conduce a una aproximación significativamente mayor a la expresión para ΔT . Se demuestra la utilidad del modelo reportado para la etapa de calentamiento mediante el ajuste a resultados experimentales de óxido de magnesio en polvo. Asimismo, se reportan valores mínimos a medir de la difusividad térmica α para los casos de una sola aguja y la sonda dual y se demuestra que α es menor en dos órdenes de magnitud para la sonda de una aguja que para el caso de una sonda dual, lo cual da mayor amplitud a la aplicación de esta técnica. Finalmente, la aplicación del modelo a la etapa de enfriamiento muestra que el modelo no reproduce de forma confiable los puntos experimentales debido a la importancia en esta etapa de los efectos de bordes no considerados en el desarrollo del modelo.

Palabras clave: Transferencia de calor, propiedades térmicas, técnica del alambre caliente, ondas térmicas.

PACS: 02.30.Lt, 07.05.kf, 06.20.DK, 65.60.+a, 65.40.-b

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCTION

Heat transfer is the area which describes the energy transport between material bodies due to a difference in temperature, and its development and applications are of fundamental importance in many branches of engineering since provides economical and efficient solutions for critical problems encountered in many advanced equipment. Among the parameters that determine the thermal behaviour of a material, the thermal diffusivity (α), is especially important

because it represents the rate of heat transfer into the media. Moreover, the thermal diffusivity is the ratio of the thermal conductivity k to the heat capacity ρc_p ($\alpha = k/\rho c_p$), hence, it measures the ability of a material to conduct thermal energy relative to its ability to store thermal energy. Materials of large α will respond quickly to changes in their thermal environment, whereas materials of small α will respond more sluggishly taking longer to reach a new equilibrium condition [1].

The hot wire (HW) technique is an absolute, non-steady state and direct method, which is considered an effective procedure to determining the thermal diffusivity of a variety of materials, including ceramics, fluids, food and polymers [2,]. The HW technique is based on the measurement of the temporal history of the temperature rise caused by a linear heat source (a hot wire) embedded in a test material. If the wire is heated by Joule’s effect passing a constant electrical current [3]. In the mathematical formulation, the hot wire is assumed an ideal, infinitely thin and long heat source, which is in an infinite surrounding material to be studied.

This work report the mathematical approximation of the temperature difference as a function of the time in the heating and cooling stages measured with the hot wire technique, showing the percentage error in the approximation and the limits of application in the determination of thermal diffusivity. The application of the theoretical models in samples of magnesium oxide in powder is shown.

II. HEATING STAGE

In the hot wire technique, the thermal properties of the study material are determined by adjusting the data ΔT vs t during the heating process, $0 < t < t_c$, According to [4]:

$$\Delta T = -\frac{q}{4\pi k} E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right) \tag{1}$$

where q is the linear ratio of heat dissipation by the source (W/m), t_c is the heating time and E_i is the integral exponential given by [5]:

$$E_i(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^u}{u} du ; x \neq 0 \tag{2}$$

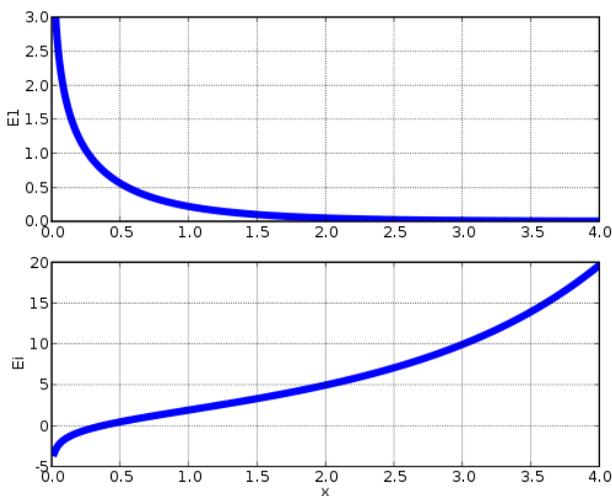


FIGURE 1. Graph of the function E_1 (top) and function E_i (bottom).

By integrating the Taylor series of e^u/u the following serial representation of $E_i(x)$ is obtained:

$$E_i(x) = \gamma + \ln|x| + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{nn!} ; x \neq 0 \tag{3}$$

where $\gamma = 0.57721566\dots$ is the Euler constant.

From (2) y (3), it follows:

$$-E_i(-x) \approx -\gamma - \ln|x| + x - \frac{1}{4}x^2 + \frac{1}{18}x^3 - \frac{1}{96}x^4 + \dots ; x \neq 0 \tag{4}$$

Figure 2 shows the curve of:

$$y(x) = -\gamma - \ln|x|,$$

$$y_1(x) = -\gamma - \ln|x| + x,$$

$$y_4(x) = -\gamma - \ln|x| + x - (1/4)x^2 + (1/18)x^3 - (1/96)x^4,$$

By comparison a significant approximation of y_1 to $-E_i(-x)$ is observed for small values of x .

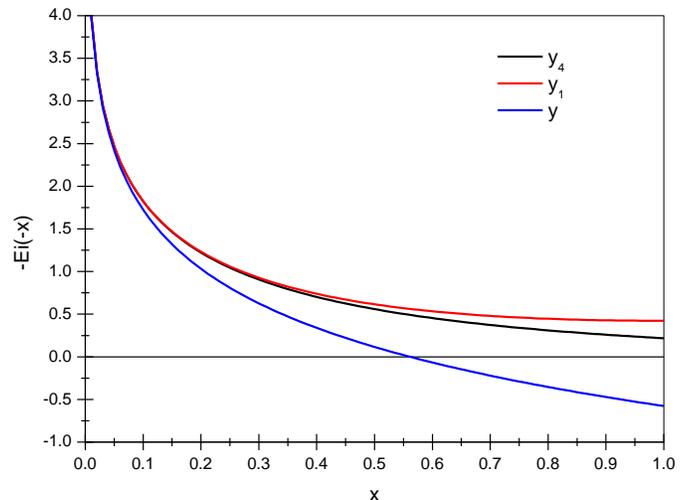


FIGURE 2. Graphs of $-E_i(-x)$ and their power series approximations.

Figure 3 shows the percentage error between the graphs of y_4 and y , as well as those of y_4 and y_1 . It is observed that the percentage error for $y(x) = -\gamma - \ln|x|$ is significantly higher than for $y_1(x) = -\gamma - \ln|x| + x$, so that, in the first case $e\% < 1\%$ for very small values of $x (< 0.03)$, and in the second case $e\% < 1\%$ for $x < 0.22$. This is a difference of one order of magnitude in $x!$

III. COOLING STAGE

This step could also be useful in determining the thermal properties of a given material. During the cooling stage ($t_c < t$) the behavior of ΔT vs t is given by [1]:

$$\Delta T = -\frac{q}{4\pi k} \left[-E_i \left(-\frac{r^2}{4\alpha t} \right) + E_i \left(-\frac{r^2}{4\alpha(t-t_c)} \right) \right] \quad (7)$$

where t_c is the heating time and E_i is the integral exponential given by Eq. (2).

When considering the approximations of the previous section, it follows ($t_c < t$):

$$\Delta T \approx -\frac{q}{4\pi k} \left[-\gamma - \ln \left(\frac{r^2}{4\alpha t} \right) + \frac{r^2}{4\alpha t} + \gamma + \ln \left(\frac{r^2}{4\alpha(t-t_c)} \right) - \frac{r^2}{4\alpha(t-t_c)} \right] \quad (8)$$

Which, when ordering terms acquires the reduced form:

$$\Delta T \approx \frac{q}{4\pi k} \left[-\ln \left(\frac{t}{t-t_c} \right) + \frac{r^2}{4\alpha t} \left(\frac{t_c}{t-t_c} \right) \right] ; t_c < t \quad (9)$$

For the temperature difference during the cooling stage.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

Figure 4 shows the experimental data of ΔT vs t for the measurement of a powder sample of MgO with the probe of a needle. The continuous curve represents the best fit of the Eq. (6) to experimental data while maintaining k and α as fitting parameters. The result $k = 0.2 \text{ W/mK}$ and $\alpha = 0.135 \text{ mm}^2/\text{s}$ corresponds to those reported in the literature.

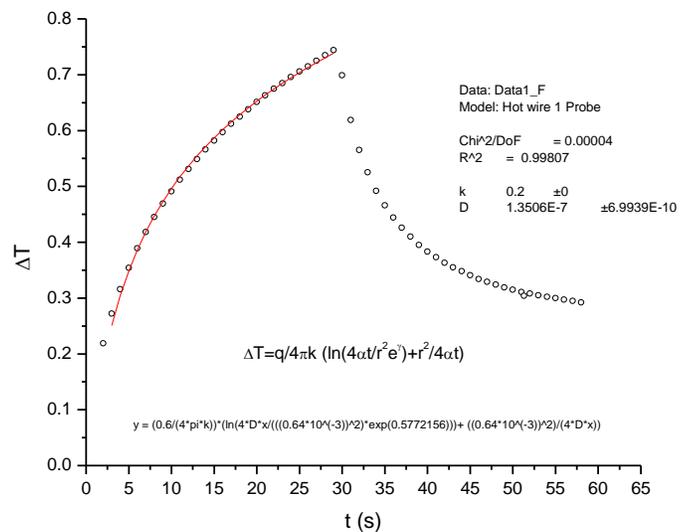


FIGURE 4. Experimental results of ΔT vs t for a simple of MgO powder by the hot wire technique of a needle. The continuous curve represents the best fit of Eq. (6) to the experimental data.

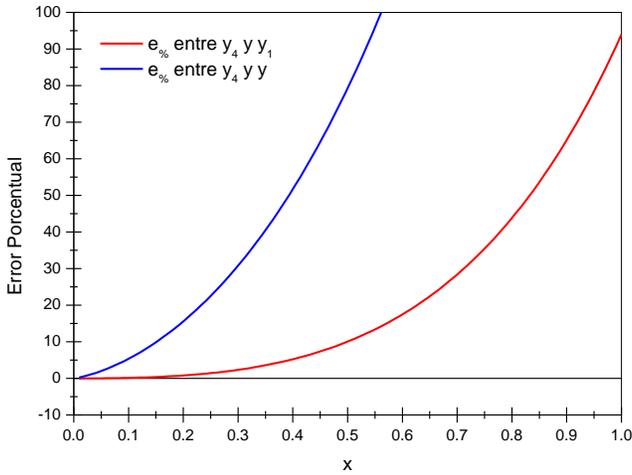


FIGURE 3. Graphs of percentage errors between $-E_i(-x)$ and their approximations in series of powers.

For $x < 0.22$:

$$x = \frac{r^2}{4\alpha t} < 0.22 \rightarrow \alpha > \frac{r^2}{0.88t}$$

Taking the value of $r = 6 \text{ mm}$ (for the case of a dual probe), it follows,

$$\alpha > \frac{(6\text{mm})^2}{0.88t} = \frac{40.91\text{mm}^2}{t}$$

Thus, model y_1 can be used with a convenient approximation for materials with α values as small as $41 \text{ mm}^2/\text{s}$ ($0.41 \text{ cm}^2/\text{s}$) when fit from $t = 1\text{s}$, or $2.73 \text{ mm}^2/\text{s}$ when fit from $t = 15\text{s}$.

If it is consider $r = 0.64\text{mm}$ (for tha case of a probe of a needle), it follows,

$$\alpha > \frac{(0.64\text{mm})^2}{0.88t} = \frac{0.46\text{mm}^2}{t}$$

Thus, model y_1 s can be used with a convenient approximation for materials with α values as small as $0.46 \text{ mm}^2/\text{s}$ ($4.6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$) when fit from $t = 1\text{s}$, or $0.031 \text{ mm}^2/\text{s}$ ($0.31 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$) when fit from $t = 15\text{s}$.

These results show that the minimum value of α decreases two orders of magnitude for the probe of a needle rather than the dual.

Fort the approximation $y_1(x)$ for $-E_i(-x)$, equation (1) takes the form:

$$\Delta T \approx \frac{q}{4\pi k} \left\{ -\gamma - \ln \left(\frac{r^2}{4\alpha t} \right) + \frac{r^2}{4\alpha t} \right\} ; 1 < t < t_c \quad (5)$$

But, taking into account that,

$$-\ln(u) = \ln(1/u) \text{ y } \gamma = \ln(e^\gamma).$$

The following final expression is obtained for ΔT in the heating stage:

$$\Delta T \approx \frac{q}{4\pi k} \left\{ \ln \left(\frac{4\alpha t}{r^2 e^\gamma} \right) + \frac{r^2}{4\alpha t} \right\} ; 1 < t < t_c \quad (6)$$

Figure 5 shows the graph of Eq. (6) in red and its comparison with the same but without the term $x = r^2/4at$. It is evident that not considering this term leads to significant deviations, especially to lower values of t , which can cause notable deviations when fitting to the experimental data.

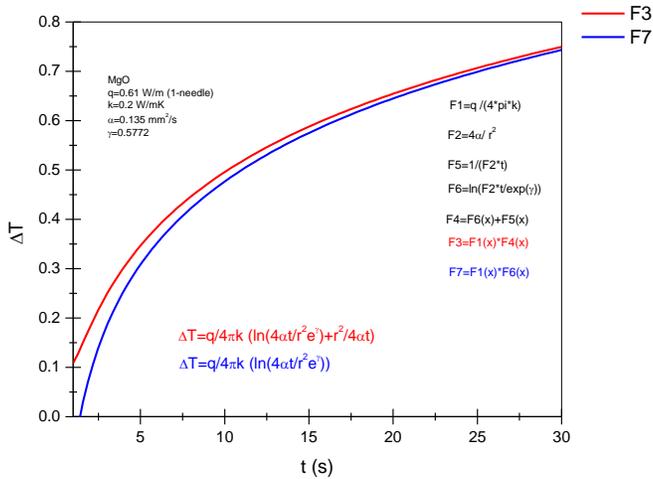


FIGURE 5. Graphs of ΔT vs t for the complete Eq. (6), in red, and without the term $x = r^2/4at$, blue curve.

Figure 6 shows the best fit of Eq. (6), without the term $x = r^2/4at$, for the same experimental data of the Fig. 4, while maintaining k and α as fitting parameters. The result $k = 0.22$ W/mK and $\alpha = 0.187$ mm²/s present percentage errors of 10% y 38.5%, respectively, when compared to those obtained with complete Eq. (6). This shows a poor fit.

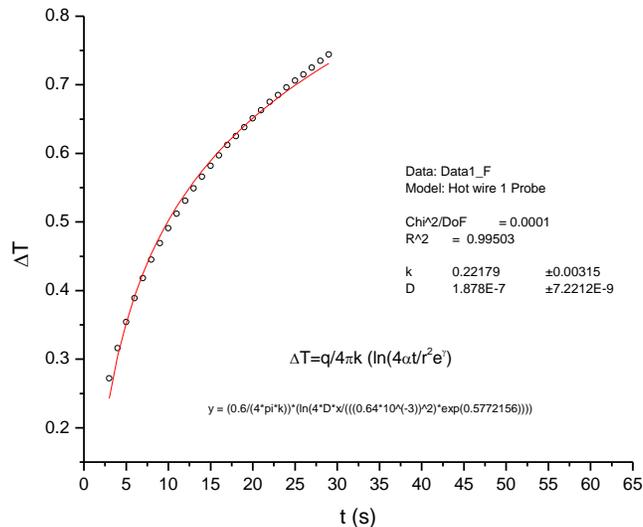


FIGURE 6. Fit of Eq (6) to the experimental data obtained for the sample of MgO powder, without the term $x = r^2/4at$.

On the other hand, in the case of the cooling stage, figure (7) shows the attempt to fit the Eq. (9) to the experimental data of Fig. 4. There is a poor fit of the model of Eq. (9), suggesting a cooling faster than the experimental data show.

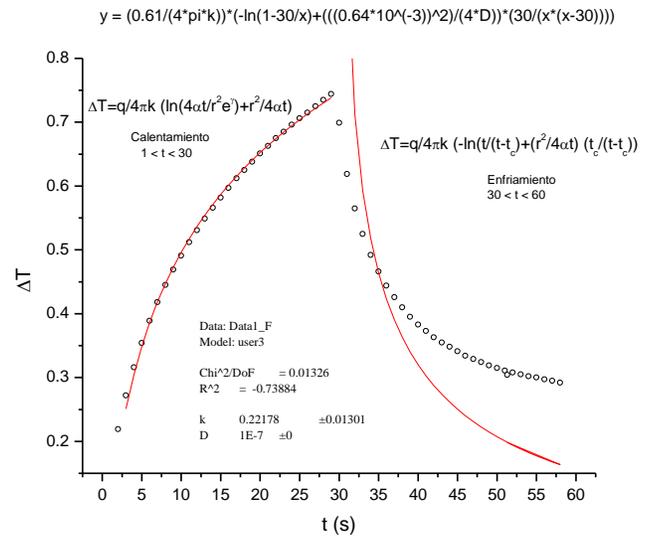


FIGURE 7. Fit of Eq. (9) to the experimental data of MgO powder during the cooling stage.

During the heating process, the model reproduces the behavior of the experimental data because in the first seconds the heat propagates from the source radially outwards. The interface, between the sample and the external medium, does not present any alteration to the propagation of heat. As the heat reaches the interface it no longer propagates with the same speed and there is an energy accumulation effect that is reproduced in the experimental data in a higher value of ΔT in the cooling process (even from the end of the process of heating) which is increased with t . It is worth mentioning that, the model developed suppose an infinite medium in which the heat should be propagated without obstacle.

VI. CONCLUSIONS

The mathematical approximation of the temperature difference as a function of the time in the heating and cooling stages measured with the hot wire technique it was presented. It showed the percentage error in the approximation and the limits of application in the determination of thermal diffusivity. In addition, the application of the theoretical models in samples of magnesium oxide in powder is demonstrated.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank to Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) of México and Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) from Instituto Politécnico Nacional (IPN) of México for the support to this work through the research projects financed by them, for scholarships to students and incentives to researchers. The support from COFAA-IPN through the SIBE and BEIFI Programs is also acknowledged.

REFERENCES

- [1] Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T. L., Lavine A. S., *Introduction of heat transfer*, (John Wiley & Sons, Ney York 2007).
- [2] Dos Santos W. N., *Advances on the hot wire technique*, J. Eur. Ceram. Soc. **28**, 15-20 (2008).
- Thermal diffusivity measurement by means of the hot wire technique*
- [3] Davis W. R., Moore F. and Downs, A. M., *The hot wire method for the determination of the thermal conductivity of castables and modifications to the standard method*, Trans, J. Brit. Ceram. Soc. **79**, 158-166 (1980).
- [4] Carslaw H. S. and Jaeger J. C., *Conduction of heat in solids*, (Oxford University Press, London 1959).
- [5] Arfken, G. B. and Weber, H. J., *Mathematical Methods for Physicists*, Fourth Edition, (Academic Press, London, 1995).

El uso del aprendizaje cooperativo para la enseñanza de los conceptos de calor y temperatura a nivel medio superior



H. J. Díaz Jiménez^{1,2,3}, M. A. Martínez Negrete³, A. López Ortega⁴

¹Plantel José Ma. Morelos y Pavón, Instituto de Educación Media Superior del D.F., C.P. 13270 Ciudad de México, México.

²Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada-Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional, Legaria #694. ColIrrigación, C. P. 11500, Ciudad de México, México.

³Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México C.P. 04510 Ciudad de México, México.

⁴Departamento de Física, Escuela Superior de Física y Matemáticas. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Edificio 9, C.P. 07738, Ciudad de México, México.

E-mail: hjdiazjimenez@gmail.com

(Recibido el 28 de Noviembre de 2015; aceptado el 16 de Marzo de 2016)

Resumen

Este trabajo describe cómo fueron implementadas algunas estrategias cooperativas a estudiantes de bachillerato en el curso de Física I durante el primer semestre en el Instituto de Educación Media Superior del Distrito Federal (IEMS-DF), obteniendo resultados satisfactorios en los procesos de enseñanza y aprendizaje sobre los conceptos de calor y temperatura -ambos contenidos del curso de Física I basado en un esquema de aprendizaje de transmisión-recepción- en comparación con la enseñanza tradicional.

Se consideraron aspectos históricos y epistemológicos de la ciencia para la implementación de este trabajo en la clase, así como estrategias de aprendizaje activo como son: discusiones entre pares, experimentos dentro y fuera de los espacios académicos, además de investigaciones dirigidas. Para el análisis de los resultados de la metodología implementada, una parte del cuestionario Moreira-Axt fue aplicada a los estudiantes para evaluar los temas de calor y temperatura, conformando un análisis integral de distintos aspectos del proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Palabras clave: Termodinámica, epistemología, aprendizaje significativo, constructivismo.

Abstract

This work describes how cooperative learning strategies were applied to high school students of the Physics I course during the first semester at the Instituto de Educación Media Superior del Distrito Federal (IEMS-DF), obtaining satisfactory results on heat and temperature conceptualization teaching-learning process -both contents of the Physics I course based on transmission-reception learning scheme- in comparison to traditional teaching.

Historical and epistemological aspects of science were considered for this class work implementation, as well as active learning strategies, such as: peer discussion, experiments in and out academic areas, as well as guided research. For the analysis of the results obtained with the implemented methodology, a section of the Moreira-Axt test was applied to the students to evaluate heat and temperature topics, conforming an integral analysis of the different aspects of the students' learning process.

Keywords: Thermodynamics, epistemology, meaningful learning, constructivism.

PACS: 01.40.Fk, 01.40.gb, 01.40.gf

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad mostrar una serie de estrategias didácticas basadas en el aprendizaje cooperativo que fueron diseñadas para la enseñanza de los conceptos de calor y temperatura, los cuales están contenidos en la materia de Física I del Instituto de Educación Media Superior del

Distrito Federal (IEMS-DF) obteniendo resultados satisfactorios.

El modelo del IEMS (que busca para los estudiantes una formación crítica, científica y humanista) contempla cuatro elementos que constituyen la formación científica: actitud científica, cultura científica general, conocimiento sólido de algunas ciencias particulares y capacitación para la investigación científica [1].

En la elaboración e implementación de la propuesta fueron consideradas las necesidades educativas particulares de los estudiantes, a los cuales se dirigen dichas estrategias, tomando como base la concepción teórica y metodológica del aprendizaje cooperativo.

La metodología implementada le permitió al educando ser un participante activo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, logrando construir el conocimiento de una manera sólida, basado en preguntas, ejercicios y experimentos relevantes para él. Además de que consiguió ubicar el desarrollo de la Física como una actividad humana, inmersa en un contexto sociocultural a través de la historia. De esta manera se procuró que el aprendiz contemplara a la ciencia como algo cercano a su actividad cotidiana, generando en él la inquietud de conocer más a fondo los temas científicos como parte de su formación educativa.

Por otra parte sabemos que una de las necesidades de la enseñanza de la ciencia es el desarrollo de habilidades cognitivas en los estudiantes, que pueden ser logradas por medio de combinar un sólido conocimiento conceptual, junto a una fuerte experiencia práctica, lo que se logra implementando estrategias cooperativas, donde el estudiante desde sus conocimientos previos, puede ir generando nuevo conocimiento a través de actividades diseñadas en función de su entorno sociocultural.

Para esto, se trabajó con dos grupos de la materia de Física I, donde un grupo se tomó como control (G.C.), trabajando con el método tradicional de la enseñanza, y en el otro grupo se trabajó con la estrategia colaborativa (grupo experimental (G.E.)).

En cuanto al análisis de los resultados en la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos de calor y temperatura se utilizó como prueba la “*g de Hake*” [2] que ofrece un sustento sobre los resultados favorables que fueron obtenidos al aplicar la estrategia de aprendizaje cooperativo en comparación con la enseñanza tradicional de transmisión-recepción.

Para hacer una descripción más detallada de la propuesta se muestran los elementos teórico-metodológicos que dieron origen a esta propuesta, para después presentar la implementación de la misma y los resultados obtenidos, utilizando la prueba de Hake, donde se compara la estrategia cooperativa con el método tradicional (transmisión-recepción).

II. MARCO TEÓRICO

A. El Aprendizaje Cooperativo

Podemos decir que el aprendizaje cooperativo se forma de aquellas estrategias didácticas que proporcionan a los educandos un papel activo dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, de tal forma que los procedimientos son realizados por los estudiantes, que agrupados en pequeños equipos, investigan, discuten y obtienen resultados sobre las actividades asignadas. Por lo tanto son “los arquitectos de su conocimiento”, ubicando al docente como un “facilitador del aprendizaje”, lo que rompe con el esquema tradicional de las exposiciones magistrales. Una de las implicaciones de este

método de enseñanza, es la reorientación que desplaza a los sistemas educativos “centrados en los docentes” hacia los sistemas educativos “centrados en los educandos”. Para Johnson, Johnson & Holubec [3] “*aprender es algo que los estudiantes hacen, y no algo que se les hace a ellos*”.

B. La estructuración del aprendizaje cooperativo

Debemos mencionar que el método cooperativo aplicado a las ciencias y en especial a la física surge como una necesidad de los docentes al darse la ruptura con las concepciones reduccionistas emanadas del positivismo radical y en relación a los aspectos epistemológicos que se han transformado hacia una orientación moderna del quehacer científico como una actividad dinámica e inmersa en un contexto sociocultural.

En relación a esto Pozo & Gómez [4], hacen referencia al aprendizaje cooperativo, al mencionar los aspectos a considerar para la construcción de estrategias que motiven a los educandos para el aprendizaje de las ciencias:

“Diversos autores han destacado que esas características didácticas para la motivación deben basarse en la localización de centros de interés, el trabajo cooperativo, la autonomía y la participación activa de los alumnos, etc.”

El aprendizaje cooperativo se ubica como una alternativa ante el método de “transmisión-recepción”, que ha traído como consecuencia un rezago importante en el aprendizaje de los estudiantes. Tales hechos los podemos constatar en el reporte PISA [5], donde se ubica a nuestro país (México) como uno de las naciones más atrasadas en conocimientos y habilidades científicas. La estrategia cooperativa por el contrario, promueve la solidaridad, la cooperación, la educación como un beneficio social, la importancia de los sentimientos y los afectos en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Debido a la descripción anterior, debemos de considerar que el maestro debe trabajar para que se generen entre los estudiantes las condiciones para la autoorganización y autogestión, además de promover la convivencia constante entre compañeros, de manera que el estudiante sea “*un protagonista activo, crítico y creador*” [6]. Por lo tanto el docente deberá preparar su clase de manera que los estudiantes consideren como algo necesario utilizar el método cooperativo, por lo que para una práctica docente eficiente se deben proponer actividades que resulten claras, donde se puedan hacer visibles los objetivos que se persiguen y se pueda evaluar el progreso y esfuerzo de cada integrante de los equipos.

Para un aprendizaje cooperativo adecuado deben ser considerados los siguientes cinco elementos [3]:

1. *La interdependencia positiva.*
2. *Responsabilidad individual y grupal.*
3. *La interacción personal.*
4. *La integración social.*
5. *Evaluación grupal.*

Otros aspectos básicos que consideramos, antes de implementar el método cooperativo son:

1. El entregar a los estudiantes un juego completo del material didáctico a utilizar ya sea de manera individual o

por equipo de forma que los educandos conozcan cual va a ser el material de trabajo para las actividades y lo puedan administrar responsablemente.

2. La conformación de los equipos, que deben estar compuestos por un máximo de 4 o 5 personas, considerando que entre mayor sea el número de integrantes menor es la posibilidad de participación de cada uno en las actividades. Además el docente deberá decidir si los grupos serán homogéneos o heterogéneos. Es factible para algunas actividades formar equipos homogéneos, cuyos miembros tengan alguna habilidad similar -como puede ser la habilidad dialógica o la habilidad descriptiva-, aunque en lo general son recomendables los grupos heterogéneos. Ahondando en este punto, muchas veces los equipos pueden ser conformados al azar, por selección propia de los estudiantes o por selección del docente.

3. Otro aspecto nodal para el trabajo cooperativo es la disposición física que tendrán en el aula o en cualquier espacio de trabajo. Es recomendable que los integrantes de los equipos puedan sentarse juntos y mirarse cara a cara, además de que todos los integrantes del equipo puedan ubicar fácilmente al profesor. En cuanto al espacio físico es recomendable que sea "flexible" (poder mover sillas, mesas, etc.) para que los estudiantes y el profesor tengan la facilidad de interactuar como es recomendable para este tipo de aprendizaje activo.

C. La actividad académica cooperativa

En la implementación de cualquier actividad académica el maestro deberá explicar a los estudiantes de qué trata la tarea a desarrollar, cuál es la manera recomendable de realizarla, qué sentido tiene para su aprendizaje del tema y cuál es el objetivo que se persigue.



Figura 1. Grupo cooperativo en una sesión de trabajo.

En cuanto a los aspectos disciplinares se deberán explicar los conceptos necesarios, aclarar dudas procedimentales, además de ofrecer ejemplos que faciliten a los estudiantes una mejor visualización de lo que tienen que conseguir. Para esto se pueden utilizar diagramas, mapas mentales, gráficos, etc.

D. Estrategias cooperativas

En esta sección hacemos la descripción de las estrategias cooperativas que fueron utilizadas en la realización de este proyecto:

a) **Rueda de ideas:** es una estrategia que sirve para que los estudiantes empiecen a formarse en el aprendizaje cooperativo debido a que sirve de "lluvia de ideas" donde cada uno de los miembros de los equipos deberá responder a una pregunta determinada sin que sea cuestionado, ni corregido, ni evaluado. Además de que promueve el respeto entre compañeros, logra que todos participen y opinen sobre un tema determinado. Para llevar a cabo este proceso nos basaremos en el procedimiento que sugieren los autores Barkley, Cross & Howell [7]:

1. Pida a los estudiantes que formen grupos entre 4 y 6 personas.
2. Explique que la finalidad de la lluvia de ideas es que generen muchas. Los miembros de grupos actuarán por turnos, que correrá en el sentido de las agujas del reloj, y responderán a la pregunta. Informe a los alumnos que, para impedir la interrupción o la restricción del flujo de ideas, deben evitar evaluar, cuestionar o discutir las.
3. Si fuese bueno para los estudiantes asumir un rol (como el de secretario o encargado del cumplimiento de las normas), deje unos momentos para su asignación.
4. Diga a los alumnos si habrá una o varias rondas, anuncie un tiempo límite y exponga la pregunta.
5. Pida a un estudiante que comience la actividad manifestando una idea o respuesta en voz alta. El siguiente alumno continuará la sesión de la lluvia de ideas exponiendo una nueva idea. La actividad sigue, pasando de un alumno a otro en sucesión, hasta que todos hayan participado.

b) **Grupos de investigación:** es una estrategia que se conoce también como "trabajo por proyectos o método por proyectos" [8] y se trabajó de la siguiente manera:

1. Elección y distribución de subtemas: los alumnos eligen, según sus aptitudes o intereses, subtemas específicos dentro de un tema o problema general, normalmente planteado por el profesor en función de la programación.
2. Constitución del grupo dentro de la clase: la libre elección del grupo por parte de los alumnos puede condicionar su heterogeneidad, que debemos intentar respetar al máximo.
3. Planificación del estudio del subtema: los estudiantes y el profesor planifican los objetivos concretos que se proponen y los procedimientos que utilizarán para alcanzarlos al tiempo que distribuyen las tareas a realizar (encontrar la información, sistematizarla, resumirla, esquematizarla, etc.)
4. Desarrollo del plan: los alumnos desarrollan el plan escrito. El profesor sigue el progreso de cada equipo y les ofrece ayuda.
5. Análisis y síntesis. Los alumnos analizan y evalúan la información obtenida. La resumen y la presentan al resto de la clase.
6. Evaluación: el profesor y los alumnos realizan conjuntamente la evaluación del trabajo en grupo y la exposición. Puede completarse con una evaluación individual.

c) **Entrevista en tres pasos:** esta estrategia es fundamentada en la colaboración entre alumnos en una dinámica donde uno de los estudiantes analice las ideas de su compañero en referencia a un tema, esto hace que el equipo se pueda constituir en parejas de ayuda. Es recomendable seguir los siguientes pasos [7]:

1. Los estudiantes se dividen en grupos de cuatro y estos se subdividen en parejas A-B y C-D.
2. El estudiante A entrevista al estudiante B y el estudiante C al D, durante un tiempo predeterminado. El entrevistador hace preguntas, escucha y sondea para obtener más información, pero no evalúa ni responde.
3. Los compañeros invierten sus roles y uno entrevista al otro durante un periodo de tiempo igual.
4. Cada uno de los estudiantes A y B presentan a C y D un resumen sintetizado de las respuestas de su respectiva pareja a las preguntas de la entrevista. Los estudiantes C y D hacen lo mismo con respecto a A y B.

d) **Equipo de exámenes:** en esta estrategia los estudiantes preparan el examen que aplicará el docente, este examen lo resolverán primero individualmente y después como equipo. Esta forma de trabajo cooperativo hace que los estudiantes aprecien las ventajas del trabajo en equipo sobre el trabajo individual y competitivo. La forma en que se utilizó esta estrategia es la siguiente [7]:

1. Pida a los estudiantes que formen grupos de entre cuatro y seis miembros. Se debe garantizar la heterogeneidad de los equipos.
2. Dependiendo del tamaño y de la complejidad del material que deba dominarse, los grupos se pueden reunir 15 minutos, toda una clase o más tiempo.
3. Aplique el examen individual a los estudiantes y recójalo para calificarlo.
4. Antes de devolver los exámenes ya calificados, pida a los alumnos que se reúnan con sus grupos para llegar a un consenso sobre las respuestas y entreguen este documento de grupo.
5. Considere la posibilidad de promediar las calificaciones individuales del examen y las del grupo para determinar las notas de los alumnos. Pondere las puntuaciones, asignando, por ejemplo, dos tercios del valor a la calificación individual y un tercio a la de grupo.

E. Recursos para estimular el trabajo cooperativo

La realidad es que la gran mayoría de los estudiantes ven el aprendizaje cooperativo como algo ajeno a ellos, donde la visión social y cultural de la competencia reina en su concepción de lo que debe hacerse en las aulas. En atención a este panorama los docentes debemos utilizar recursos para que el estudiante:

- a) *“perciba que sólo podrá conseguir su objetivo –o como mínimo pueda alcanzarlo mejor- sí, y sólo si, los demás también consiguen su objetivo y*
- b) *tenga claro, al mismo tiempo, que contribuya, como el resto de sus compañeros de equipo, con el mismo peso específico al éxito global de su equipo”* [7].

En esta investigación se utilizó el llamado sistema de recompensas [8]. A continuación describiremos algunas recompensas que fueron utilizadas en nuestra investigación:

a) *Puntuaciones o calificaciones individuales y grupales:* podemos considerar complementarias las calificaciones individuales y grupales de tal forma que se genera la llamada interdependencia positiva. En nuestro caso el equipo trabajó en forma cooperativa elaborando un cuestionario y la calificación única le fue aplicada a cada integrante del equipo.

b) *La puntuación individual de un miembro escogido al azar es la puntuación individual de los otros miembros del equipo:* antes del examen los integrantes del equipo estudiaron juntos asegurándose de que cada uno de los miembros hayan entendido la temática del examen. Después se escogió al azar a un integrante del equipo y se le aplicó el examen donde la puntuación obtenida sería la misma para todo el equipo.

c) *Recompensa individual en función del rendimiento global del equipo:* este es un mecanismo que se implementó dejándoles a cada equipo una actividad práctica o de investigación y en función de su rendimiento global se le asigna a cada integrante del grupo una recompensa en su puntaje individual.

III. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

En esta sección presentaremos como fueron implementadas las propuestas (cooperativa y tradicional), por lo que iniciamos con la conformación y la caracterización de los grupos. Después de esto analizaremos como se llevaron a cabo las sesiones aplicando los métodos correspondientes.

A. Conformación y caracterización de los grupos

El IEMS tiene un sistema de ingreso para los estudiantes por medio de sorteo, al igual que para la conformación de los grupos, de esta manera existen las condiciones para tener una asignación aleatoria lo que nos permite trabajar con esta hipótesis en nuestro tratamiento estadístico. En cuanto al grupo control y el grupo experimental, de igual manera fueron asignados por medio de un sorteo con lo cual tenemos las condiciones para llevar a cabo nuestro estudio.

Los estudiantes del grupo control tienen una edad promedio de 16.4 años (con edades que van desde los 15 hasta los 23) y del grupo experimental 16.9 años (con edades que van desde los 15 hasta los 32 años).

El grupo control consta de 20 estudiantes distribuidos de la siguiente manera: 9 Mujeres y 11 Hombres. El grupo experimental consta de 23 estudiantes distribuidos de la siguiente manera 17 Mujeres y 6 Hombres.

B. Grupo experimental

Como primer paso se indicó a los estudiantes de este grupo que el material didáctico que se utilizaría a lo largo del semestre, estaría basado en los siguientes libros:

- Conocimientos fundamentales de Física, Módulo 5, Termodinámica [9].
- Física 2 “El gimnasio de la mente” [10].
- Física Conceptual [11].

En la primera sesión se aplicó el cuestionario Moreira-Axt modificado (ver Anexo 1).

En la segunda sesión se inició la discusión de los temas de temperatura y calor aplicando la estrategia “*Rueda de ideas*” con una pregunta ¿Cómo no tener frío en invierno? Los estudiantes explicaron sus ideas, siguiendo la estrategia mencionada, con lo que nunca fueron interrumpidos o corregidos y se fueron anotando sus explicaciones para después arribar a una discusión grupal donde se llegó a la conclusión de que debemos “abrigarnos” con ropa “caliente”.

De esta discusión se desprendieron otras preguntas, ¿la ropa nos calienta? ¿Cómo podemos ahorrar energía (y por lo tanto dinero) si la ropa “nos proporciona calor”? ¿Podemos calentar el agua, para nuestro café o para bañarnos, envolviéndola en un abrigo?

La gran mayoría coincidió en que no habían observado tal fenómeno (que el agua elevara considerablemente su temperatura al envolverla con un abrigo) y que si fuera posible en nuestros hogares se llevaría a cabo con cierta frecuencia para ahorrar dinero. Sin embargo, algunos estudiantes mencionaron que tal vez que no se llevaba a cabo porque era un procedimiento muy tardado pero que posiblemente si podríamos conseguir que se elevara la temperatura de esta forma. De aquí sugerimos un experimento en el cual se colocara una pequeña cantidad de agua en un vaso y se envolviera con una cobija dejándolo varias horas para ver si podíamos obtener que esa pequeña cantidad de agua se calentara lo suficiente. Otra discusión que se originó fue, que en cambio, si tenemos una cantidad de agua caliente y envolvemos el recipiente donde se encuentra, con un abrigo o ropa gruesa, podemos observar que tarda más tiempo en enfriarse en comparación con otro recipiente (de iguales características) donde pongamos la misma cantidad de agua pero la dejemos destapada.

C. Aislantes y conductores de calor

Continuando con la discusión nos enfocamos al papel que jugaba la ropa en mantenernos en confort térmico durante el invierno. Los argumentos de los estudiantes fueron cercanos a la idea de que la ropa no proporciona calor, sino que no permite que se vaya el que nosotros generamos como seres vivos, “la ropa sirve como un aislante térmico”.

Continuando con nuestro análisis y en función de las anteriores discusiones se preguntó, ¿qué tipo de ropa debemos utilizar en primavera? La respuesta fue “una ropa que deje escapar el calor que generamos”.

De aquí pudimos concluir la existencia de:

- Materiales aislantes de energía, que se les denominará materiales adiabáticos.
- Materiales que transmiten bien la energía, que se les denominará materiales diatérmicos.

D. Temperatura

El siguiente punto que tratamos es el concepto de temperatura, la percepción sensorial que tenemos de ella, y su forma de medirla. Las preguntas planteadas a los

estudiantes para la discusión fueron ¿qué se entiende por temperatura? ¿Cómo podemos medirla?

Se aplicó nuevamente la estrategia Rueda de ideas con lo que los estudiantes manejaron las siguientes respuestas:

- La temperatura es el calor que tiene un cuerpo.
- La temperatura es lo que miden los termómetros.
- La temperatura y el calor son lo mismo.
- La temperatura es lo que nos indica que tan frío o caliente está un cuerpo.

En base a estas concepciones previas se intentó aclarar por medio de una explicación lo que es y lo que no es la temperatura:

- Se propuso adoptar la idea intuitiva de que la temperatura es lo que nos indica que tan caliente o frío está un cuerpo.
- Se propuso que deberíamos de hacer una distinción entre temperatura y calor (que más adelante se aclararía).
- Se mencionó que el concepto de calor para la Física sería distinto al que le asignamos en la vida cotidiana que comúnmente entendemos como una propiedad intrínseca de los cuerpos.
- Del punto anterior se mencionó que para la Física los cuerpos no van a tener calor (y que más adelante tendríamos que discutir las razones).

Mencionados estos puntos pudimos acotar los conceptos a analizar para evitar al máximo las confusiones y poder usar un lenguaje con el cual pudiéramos empezar a trabajar, sin olvidar que tendríamos que aclarar todos los conceptos involucrados.

Para profundizar en el concepto de temperatura y su medición, se planteó la siguiente pregunta ¿cómo medimos la temperatura sin un termómetro? Para esta fase utilizamos la estrategia “*entrevista en tres pasos*”.

La respuesta general entre los estudiantes fue que ponemos la mano sobre el objeto y vemos si está “caliente” o “frío” (comúnmente se refirieron al caso de la fiebre en un enfermo). De esto surgió la siguiente pregunta ¿qué tan confiable es esta medida?

Para esto se desarrolló la actividad “*diferentes sensaciones térmicas del agua tibia*” (ver Anexo 2) con la estrategia Grupos de investigación.

La discusión sobre las respuestas obtenidas se enfocó en pensar si nuestros sentidos eran fiables o no para medir la temperatura, los estudiantes diferían sobre esto, debido a que tenían sensaciones diferentes en las manos dependiendo de si su mano había estado previamente en el agua caliente o en el agua fría al introducirla después en el recipiente del agua tibia. Se utilizó la estrategia de motivación “recompensa individual en función del rendimiento global del equipo”.

E. Equilibrio térmico

En otro punto del mismo experimento “diferentes sensaciones térmicas del agua tibia” se propuso trabajar con termómetros del laboratorio, en lugar de utilizar las manos, con la intención de trabajar el concepto de equilibrio térmico. Los estudiantes introdujeron los termómetros en los recipientes del agua “*fría*” y del agua “*caliente*” durante dos minutos siguiendo el mismo procedimiento que llevamos a cabo con las manos. Después se pidió que ambos termómetros fueran introducidos en el recipiente del agua

Héctor J. Díaz Jiménez, M. A. Martínez Negrete, Alfredo López Ortega “tibia” y mencionaran si inmediatamente después de introducir los termómetros marcaba la temperatura del agua “tibia”. Los estudiantes coincidieron en que al sumergir los termómetros, la altura de las columnas de mercurio variaban durante un determinado tiempo hasta que se estabilizan en una misma medición “una columna de mercurio sube, la otra baja y después de un tiempo las alturas coinciden” mencionaron.

De esta experiencia se planteó que la idea de medición de la temperatura tiene sentido cuando ha pasado un tiempo determinado y se ha establecido el “equilibrio térmico”, que es cuando los cuerpos tienen la misma temperatura. De esto se dedujo que estos termómetros miden su propia temperatura, pero que al estar en equilibrio térmico con otro cuerpo miden también esa temperatura.

La siguiente actividad correspondió a una investigación por equipos. En ella se utilizó la estrategia de motivación “recompensa individual en función del rendimiento global del equipo” donde investigaron los distintos tipos de termómetros existentes: los que utilizan una resistencia eléctrica, los de cristal líquido, etc., y por otra parte investigaron las distintas escalas de temperatura que se usan (Fahrenheit, Celsius, Kelvin).

Para complementar esta actividad se mostraron algunos termómetros como el galileano, el de cristales líquidos, el de sensor infrarrojo y el de bulbo de mercurio.



Figura 2. Distintos tipos de termómetros.

Se explicó que históricamente los primeros termómetros construidos eran de alcohol o mercurio (como el termómetro clínico o el utilizado en el laboratorio), que éstos basan su principio de funcionamiento en que al aumentar su temperatura los líquidos aumentan su volumen. De este modo la altura del líquido en el capilar, conectado al bulbo, proporciona una medida de la temperatura del líquido en el bulbo. De aquí se trató el tema de la relación matemática entre las distintas escalas y se desarrollaron algunos ejemplos en clase donde los estudiantes, por equipos, resolvieron ejercicios numéricos básicos, aplicando la estrategia de motivación “Puntuaciones o calificaciones individuales y grupales”.

F. Construcción de un termómetro

La siguiente actividad fue la construcción de un termómetro casero. Se aplicó la estrategia de “Grupos de investigación”. Para su construcción cada equipo debería contemplar los siguientes aspectos:

- Material a utilizar.
- Medidas de seguridad.
- Procedimiento.
- Integrantes del equipo y la distribución de tareas.
- Elaboración de un video.
- Presentación del video en el grupo.

Los estudiantes presentaron sus termómetros en clase y se les pidió que compartieran su experiencia con los demás compañeros. Además entregaron evidencia del trabajo desarrollado en un video.



Figura 3. Elaboración de un termómetro.

G. Dilatación

Relacionado con esto se abordó el tema de dilatación, donde los estudiantes realizaron la siguiente actividad práctica: “Hacer pasar una esfera metálica por un anillo”. El material consta de un mechero, una esfera de metal y un aro de metal. Se solicita a los equipos realicen los siguientes pasos:

1. Verificar que la esfera pasa por el aro.
2. Colocar la esfera en el mechero durante un minuto.
3. Inmediatamente después, intentar cruzar la esfera por el aro.
4. Dar una explicación por equipo.

Después de esta experiencia se planteó lo siguiente: si tengo una placa metálica con una perforación y la caliento ¿el agujero se reduce, crece o queda igual? Esto debería de ser comprobado también por los equipos al proporcionárseles un nuevo juego de esfera y aro, con la diferencia de que en este caso la esfera no pasa por el aro. Se solicitó que ahora pusieran el aro al fuego y comprobaran lo que sucede. Esta actividad se concluyó con una explicación sobre el fenómeno de dilatación y sus aplicaciones (construcción de termómetros, termostatos, etc.), además de que se hizo mención de como en la vida cotidiana aplicamos frecuentemente estas propiedades de una forma tan sistematizada que no nos detenemos a pensar en la razón del

fenómeno físico. Por ejemplo cuando queremos destapar un frasco de vidrio que tiene una tapa metálica ponemos la tapa al fuego y debido a que el metal tiene una mayor dilatación que el vidrio podemos destaparlo, o por qué existe una separación entre los rieles por los que pasan los trenes, así como por qué los dentistas usan un material de relleno para las muelas que se dilatan de igual forma que estas.



Figura 4. Dilatación de una esfera metálica.

Además se discutió que los fluidos se dilatan apreciablemente más que los sólidos, lo que se puede apreciar cuando se derrama la gasolina de los tanques de los automóviles en días calurosos; por esto se recomienda que uno cargue gasolina en las noches o en las madrugadas. Por último se mencionó que existen materiales “extraños” que pueden contraerse al aumentar su temperatura.

H. Calor

El siguiente punto que se abordó fue el tema de calor. Para esto se planteó una investigación por equipo, aplicando la estrategia de motivación, “Recompensa individual en función del rendimiento global del equipo” solicitando a los estudiantes identificaran a los siguientes personajes y sus aportaciones al concepto de calor: Antoine-Laurent Lavoisier, Conde Rumford, y Josep Black.

De aquí se desarrolló una discusión sobre la teoría del calórico y sus postulados básicos [10]:

1. “El calórico es un fluido elástico cuyas partículas se repelen unas a otras”.
2. Las partículas del calórico son fuertemente atraídas por partículas de otras sustancias. Diferentes sustancias atraen el calórico con fuerzas diferentes.
3. “El calórico se conserva, es decir, es indestructible y no puede ser creado”.

Bajo estas condiciones se plantearon las cualidades de dicha teoría explicando exitosamente algunos aspectos fundamentales de la siguiente manera [ibíd.]:

- “Los cuerpos se calientan porque sus partículas atraen a las partículas del calórico.

- Al calentarse, los cuerpos se dilatan porque las partículas del calórico se repelen entre sí.
- Los cuerpos tienen diferentes capacidades de almacenar el calórico porque atraen a las partículas con diferentes fuerzas”.

La forma de abordar este tema tuvo la intención de mostrar a los estudiantes que la ciencia se encuentra siempre en una constante transformación conceptual y filosófica de la que hace referencia T.S. Kuhn [12]. Además que la aceptación de nuevos conceptos no es un proceso fácilmente asimilable por la comunidad científica. Para tal efecto se discutió cómo los científicos de la época se resistían a aceptar las críticas vertidas por el Conde de Rumford sobre la teoría del calórico a pesar de estar basada en evidencias experimentales. La conclusión de las discusiones precedentes fue la punta de lanza de las nuevas ideas que transformarían el concepto de calor hasta llegar al que reconocemos en la actualidad, de lo que surgen los siguientes aspectos fundamentales que fueron analizados en la sesión:

- El calor describe los procesos energéticos asociados a una diferencia de temperatura. Debido a que el calor no se puede medir sin un cambio de temperatura, la idea de “calor de un cuerpo” no tiene sentido. De esto tenemos que “el calor es la energía que se transmite debido a una diferencia de temperaturas, por lo que los cuerpos no poseen calor”
- Si no existe una diferencia de temperaturas entre los cuerpos o sus alrededores no existirá este flujo de energía.
- Esto aclara que temperatura y calor son dos conceptos relacionados pero diferentes.

I. Conductividad térmica

Continuando con la explicación de los conceptos, pasamos al tema de conductividad térmica por medio de la realización de una actividad experimental utilizando la estrategia de motivación “recompensa individual en función del rendimiento global del equipo”. La realización de esta actividad consta de colocar clips pegados con parafina a distancias regulares entre los extremos de una barra de asbesto y una de metal, para después colocar las puntas de las barras al fuego y tomar el tiempo en que se desprenden cada uno de los clips debido a las distintas propiedades térmicas de las barras. Los estudiantes apreciaron que los clips que se encontraban en la barra de metal se desprendieron en un tiempo menor con lo que se asoció una propiedad diferente al asbesto, además observaron que los clips se fueron desprendiendo uno a uno, del más cercano a la flama al más alejado de ella. A ésta propiedad se le llamó conductividad térmica de los materiales, de manera que si tiene un valor alto o bajo permite afirmar que son buenos o malos conductores de calor”. Entonces podemos decir que la conductividad térmica de un abrigo de lana es mucho menor que la conductividad térmica de los metales, lo que genera que tengamos distintas sensaciones térmicas al palpar dichos objetos. Lo anterior nos permitió entender que sentimos a los metales más fríos que la madera cuando nuestra temperatura

Héctor J. Díaz Jiménez, M. A. Martínez Negrete, Alfredo López Ortega corporal es mayor que la del medio ambiente, mientras que sentimos a los metales más calientes que la madera cuando la temperatura de nuestro cuerpo es menor que la del ambiente.

J. Capacidad calorífica

El siguiente tema fue la capacidad calorífica de los materiales por lo cual se plantearon las siguientes preguntas ¿qué pasa si pongo un globo al fuego? ¿Y si ahora lo lleno de agua? ¿Qué explica la diferencia entre sus respectivas respuestas?

Los equipos discutieron en “rueda de ideas” las posibles respuestas. Después realizaron dos actividades experimentales. De inicio los estudiantes colocaron una cuchara de metal y una de madera en agua hirviendo. En la segunda actividad descubrieron que un globo con agua no se quema en comparación con un globo que no contiene agua. Con estas experiencias los estudiantes comprobaron la diferencia entre los materiales y sus propiedades térmicas, lo que les permitió definir una propiedad de los materiales, la capacidad calorífica:

“La capacidad calorífica específica de cualquier sustancia se define como la cantidad de calor requerida para cambiar un grado la temperatura de una unidad de masa de la sustancia”.

En la discusión se aclaró que para que un globo se quemara se debe llevar a la temperatura a la cual esto sucede, lo que en el caso del globo con agua no se logra fácilmente debido a que la capacidad calorífica del agua es alta. Esto se profundizó con una explicación en torno a que los diversos materiales requieren de distintas cantidades de calor para elevar su temperatura una determinada cantidad de grados. Se discutió que así como los materiales tardaban en calentarse también tardaban en enfriarse. Se mencionó el ejemplo del agua, que al calentarla y verterla en una bolsa se puede utilizar en las noches frías, para mantener un confort térmico, al ser colocada cerca de nuestro cuerpo, debido a su gran capacidad calorífica.

Terminada esta actividad se procedió a aplicar al grupo nuevamente el cuestionario Moreira-Axt modificado. Es importante aclarar que en la aplicación de la estrategia nunca se distinguieron las sesiones de laboratorio y las sesiones teóricas.

K. Enseñanza tradicional

Para la implementación de la propuesta tradicional al grupo control se le aplicó al inicio el mismo test de evaluación Moreira-Axt modificado. Las sesiones se llevaron a cabo con la forma tradicional de exposiciones magistrales donde los estudiantes no desarrollaban actividades en el aula. Evidentemente, al preguntárseles si había alguna duda en el desarrollo de la clase, los integrantes del grupo se limitaban a realizar preguntas muy concretas sobre algún detalle de la exposición sin entablar un diálogo con los compañeros. En cuanto a las sesiones experimentales se plantearon de manera que los estudiantes tuvieron que desarrollar secuencias que ya estaban planeadas por parte del docente con un procedimiento, metodología y objetivo muy precisos.

Además, se hacía una distinción entre las sesiones de teoría y las sesiones experimentales.

La forma de exposición en el aula consistió en dar una explicación de los conceptos relacionados con los temas de temperatura, medición de temperatura, escalas de temperatura, dilatación, calor, conducción térmica y capacidad calorífica. Después se procedió a resolver ejercicios numéricos relacionados (conversión de unidades Fahrenheit a Celsius o viceversa o de Celsius a Kelvin, dilatación térmica, calorimetría). Al finalizar algún tema se dejaban tareas a los estudiantes donde no se mencionaba si lo podían hacer en equipo o de manera individual. En estas actividades primordialmente se solicitaba la resolución de ejercicios numéricos y de preguntas muy enfocadas a la memorización de los conceptos involucrados.

Al terminar el tratamiento de estos temas se procedió a aplicar al grupo nuevamente el cuestionario Moreira-Axt.

IV. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Ganancia de Hake

Para el análisis del instrumento (cuestionario Moreira-Axt modificado) se utilizó la llamada g de Hake o factor de Hake [13]. Esta prueba, propuesta por Richard Hake de la Universidad de Indiana, ha sido utilizada en distintos estudios para la evaluación de resultados de pruebas sobre el aprendizaje conceptual de los alumnos, mostrando una medida de la ganancia relativa (cómo mejoran los estudiantes) entre el pre-test y el post-test [14].

Esta ganancia está determinada por los aciertos obtenidos con la siguiente expresión:

$$g = (S_f - S_i) / (100 - S_i)$$

donde

S_i es el puntaje porcentual del pre-test.

S_f es el puntaje porcentual del post-test.

Esta prueba clasifica la ganancia relativa en tres niveles:

Alto si $g > 0.66$

Medio si $0.3 \leq g \leq 0.66$

Bajo si $g < 0.3$.

Mostramos en la tabla 1 los resultados obtenidos para las preguntas que involucran los conceptos de temperatura y calor del cuestionario Moreira-Axt.

En un análisis general podemos observar que para el grupo control en las preguntas 5, 6, 7, 10 y 13 se presentan ganancias negativas entre el pre-test y el post test. Para el grupo experimental solamente en la pregunta 3 encontramos un valor negativo.

Para el grupo control en la preguntas 4, 11, 12, 13, 14 encontramos valores de ganancia baja. Para el grupo experimental las ganancias bajas se encuentran en las preguntas 2, 4, 11, 13, 14.

Ganancias medias se obtienen en la pregunta 2 para el grupo control. En cuanto al grupo experimental las ganancias medias se encuentran en las preguntas 1, 7, 8, 9, 12.

Para las preguntas de ganancia alta, para el grupo control no se obtuvo ninguna. Mientras que para el grupo experimental se obtuvo ganancia alta en las preguntas 6, 10.

TABLA I. Comparativo entre las ganancias de Hake del grupo control y del experimental.

Número de pregunta	GC	GE
Pregunta 1	0	0.33
Pregunta 2	0.31	0.21
Pregunta 3	0	-0.24
Pregunta 4	0.19	0.19
Pregunta 5	-0.14	0
Pregunta 6	-0.1	0.93
Pregunta 7	-0.18	0.3
Pregunta 8	0	0.5
Pregunta 9	0	0.36
Pregunta 10	-0.14	0.77
Pregunta 11	0.09	0.14
Pregunta 12	0.071	0.61
Pregunta 13	-0.08	0.27
Pregunta 14	0.12	0.05

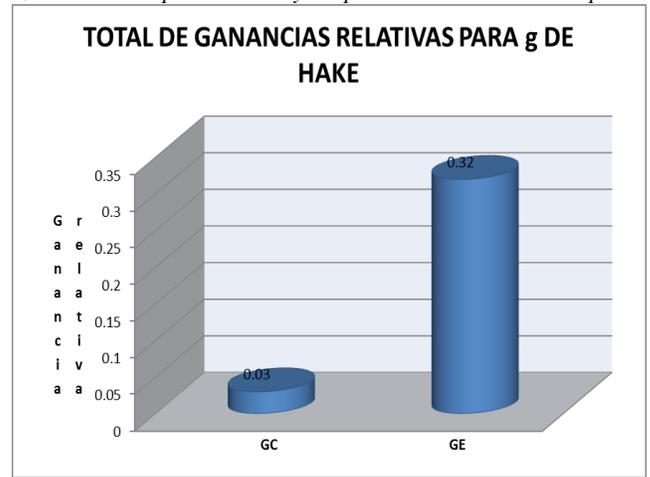


Figura 6. Ganancia total de Hake para el cuestionario Moreira-Axt.

IV. CONCLUSIONES

Existen varios aspectos que deben considerarse de manera integral sobre el trabajo de investigación que hemos desarrollado, los cuales describiremos a lo largo de las siguientes líneas.

En cuanto a los estudiantes debemos mencionar que por principio se muestran poco receptivos a un trabajo en equipo, lo que puede ser por tener pocas o nulas experiencias cooperativas que cuenten con una consistencia metodológica. En el mejor de los casos se concibe la labor en “equipo” como un trabajo de “división de tareas” con el fin de disminuir el trabajo y poder presentar un producto final que simplemente es un conjunto de pequeños esfuerzos individuales, donde es muy común que los integrantes de los equipos dominen, en el mejor de los escenarios, sólo la parte que desarrollaron. Esto generó la necesidad de trabajar de manera constante con las actividades de motivación del trabajo cooperativo, como se ha descrito, hasta lograr que los estudiantes encontraran las ventajas de un trabajo coordinado y solidario dentro de los equipos. El cambio actitudinal fue mostrándose en un mejor rendimiento académico (los estudiantes desarrollaban las tareas en un menor tiempo, disminuyeron los conflictos entre los integrantes de los grupos, los estudiantes tenían más solvencia en aspectos de organizar las actividades, etc.). Es evidente la necesidad de desarrollar una investigación donde se pueda contemplar de manera sistemática estos aspectos considerando una investigación de tipo cualitativa.

En cuanto a los resultados obtenidos en los temas disciplinares, podemos observar que en general los estudiantes del grupo cooperativo tuvieron un rendimiento mayor que los del grupo control. En cuanto al examen de preguntas abiertas podemos concluir que tanto en los aspectos conceptuales, como en los ejercicios donde se involucra el en aparato matemático los estudiantes del grupo experimental tienen un aprovechamiento superior a los del grupo control.

Es importante mencionar que existen algunos conceptos clave en los temas de temperatura y calor que siguen

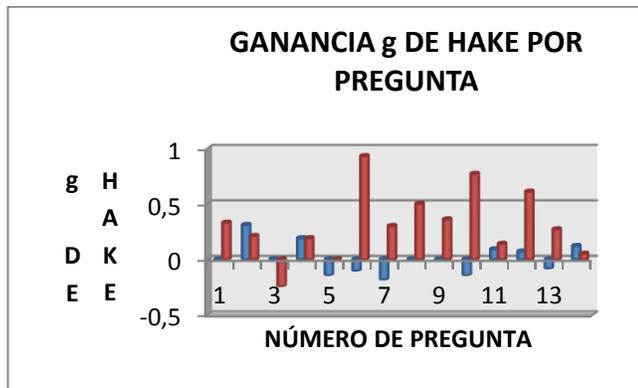


Figura 5. Ganancia de Hake por pregunta del cuestionario Moreira-Axt.

Como se puede observar en la figura 6, para todo el cuestionario el grupo experimental obtuvo una ganancia global por encima del grupo control.

En términos de los parámetros propuestos para la ganancia de Hake, en el grupo control tenemos una ganancia baja de 0.03 y en el grupo experimental encontramos que su ganancia es media con el 0.32. Esto nos sugiere que existe una diferencia entre las estrategias aplicadas en términos del proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes en los temas de calor y temperatura. Lo anterior nos indica que el trabajo en grupos cooperativos puede resultar en una estrategia que mejore el manejo de conceptos en los estudiantes de nivel medio superior.

Héctor J. Díaz Jiménez, M. A. Martínez Negrete, Alfredo López Ortega presentando algunas dificultades de asimilación por parte de los estudiantes, por ejemplo las preguntas que incluyen la palabra *energía* tuvieron un bajo número de aciertos en ambos grupos, lo que puede ser un indicador de la confusión que genera este concepto debido a las concepciones alternativas, como lo mencionan Pozo & Gómez [3], y que la estrategia cooperativa no logró resolver. Nuevamente sería recomendable aplicar otro tipo de test que mostraran a mayor profundidad las causas de este error conceptual con el objetivo de encontrar una posible solución.

También es importante mencionar que la aplicación de la propuesta cooperativa requiere de los espacios y ambientes adecuados para su implementación, debido a que existen muchas inercias en las instituciones educativas, en sus programas académicos y en los planes de estudios que no son compatibles con las nuevas tendencias educativas. Por principio, la labor docente debe ser transformada de manera coherente con los puntos fundamentales del método cooperativo y transformar las aulas en espacios de convivencia y atención por parte del maestro, donde genere con su proceder las condiciones para que los estudiantes puedan iniciar un trabajo dilógico y de comunidad. Claramente se deben olvidar las estrategias de tipo competitivo que en su gran mayoría son fomentados por los profesores. Otro aspecto que debe trabajarse es el encaminado a tener un papel menos protagónico en el aula, por parte de los maestros, que permita a los estudiantes trabajar con soltura y sin prejuicios, además que puedan encontrar en ellos un facilitador del conocimiento en sustitución de una figura rígida que actúa en base a un principio de autoridad.

Lo anterior tiene un peso específico fundamental en la aplicación del método descrito en este trabajo, debido a que inherentemente a la conformación de grupos de trabajo cooperativo está la formación de estructuras sociales en el aula, que no pueden ser compatibles con aspectos individualistas o autoritarios por parte de ningún integrante de la comunidad educativa, y donde el docente es un integrante más de la misma y debe asumirse como tal.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los estudiantes del IEMS su colaboración y su trabajo en los espacios académicos, pues sin ellos la presente investigación no tendría sentido. También agradecemos al Posgrado en Física Educativa CICATA-LEGARIA-IPN y en especial a su director Dr. Cesar Mora Ley el permanente interés mostrado en el desarrollo de nuestra investigación.

VI REFERENCIAS

- [1] Modelo educativo del IEMS, <http://www.iems.df.gob.mx/html/fciencia.html>. consultado el 03/12/2009.
- [2] Hake, R. R., *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test*

data for introductory physics courses, American Journal of Physics **66**, 64-74 (1998).

- [3] Johnson D. W., Johnson R. & Holubec E., *El aprendizaje cooperativo en el aula*, (Paidós Educador, Argentina, 2008).
- [4] Pozo J. I. & Gómez M.A., *Aprender y enseñar ciencia*, (Morata 5ª Ed., España, 2006).
- [5] Reporte PISA 2009, http://www.oecd.org/document/1/0,3343,es_36288966_36288553_46638465_1_1_1_1,00.html consultado el 10/02/2010.
- [6] Ferreiro G., Espino C., *El ABC del aprendizaje colaborativo*, (Trillas 2ª Ed., México, 2009).
- [7] Barkley, Cross & Howell, *Técnicas de aprendizaje colaborativo*, (Ed. Morata, España, 2007).
- [8] Pujolas P, *Atención a la diversidad y aprendizaje cooperativo de la educación obligatoria*, (Ediciones Alebrije, España, 2001).
- [9] Marquina M. L. (Coordinadora), *Conocimientos fundamentales de Física*, (Pearson educación, México, 2006).
- [10] Slisko J., *Física (El gimnasio de la mente 2)*, (Pearson educación, México, 2009), (Crítica, España, 2009).
- [11] Hewitt, P., *Física conceptual*, (Pearson educación 9ª Ed., México, 2007).
- [12] Kuhn, T.S., *La estructura de las revoluciones científicas*, (Fondo de Cultura Económica 2ª Ed., México, 1972).
- [13] Seballos, S., *Razonamiento científico de estudiantes que ingresan en carreras de ingeniería*, <http://www.ucn.cl/imagesContenidos/documentos/Ponencia%2004.pdf> consultado el 10/02/2010.
- [14] Lara-Barragán, A., Santiago A., *Detección y clasificación de errores conceptuales en calor y temperatura*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **4**, 399-407 (2010).

ANEXO 1

Cuestionario Moreira-Axt modificado

- 1.- Adjudicamos la existencia de calor:
- A cualquier cuerpo, pues todo cuerpo posee calor.
 - Sólo a aquellos cuerpos que están “calientes”.
 - A situaciones en las cuales ocurre, necesariamente, transferencia de energía.**
- 2.- Para que se pueda hablar de calor:
- Es suficiente un solo sistema (cuerpo).
 - Son necesarios, por lo menos dos sistemas (cuerpos).**
 - Es suficiente un solo sistema, pero este debe de estar “caliente”.
- 3.- Para que se pueda admitir la existencia de calor debe haber:
- Una diferencia de temperaturas.**
 - Una diferencia de masas.
 - Una diferencia de energías.
- 4.- Calor es:
- Energía cinética de las moléculas.

b) Energía transmitida sólo a causa de una diferencia de temperaturas.

c) La energía contenida en un cuerpo.

5.- En el interior de una habitación que no haya sido calentada o refrigerada durante varios días:

a) La temperatura de los objetos de metal es inferior a la temperatura de los objetos de madera.

b) La temperatura de los objetos de metal, de los objetos de madera y de los sarapes y de los demás objetos es la misma.

c) Ningún objeto tiene temperatura.

6.- Se coloca un cubito de hielo a 0°C en un recipiente con agua también a 0°C. En tal caso:

a) El agua cede energía por calor al hielo.

b) Tanto el agua como el hielo no tienen calor porque están a 0°C.

c) Ninguno de los dos puede ceder energía por calor al otro.

7.- Dos cubos metálicos A y B son puestos en contacto. A está más caliente que B. Ambos están más “calientes” que el ambiente. La temperatura final de A y B será:

a) Igual a la temperatura ambiente.

b) Igual a la temperatura inicial de B.

c) Un promedio entre las temperaturas iniciales de A y B.

8.- Dos pequeñas placas A y B del mismo metal e igualmente gruesas se colocan en el interior de un horno, el cual se cierra y se acciona. La masa de A es el doble de la masa de B ($m_A=2m_B$). Inicialmente las placas y el horno están todos a la misma temperatura. Tiempo después la temperatura de A será:

a) El doble de la de B.

b) La mitad de la de B.

c) Igual a la de B.

9.- Considera dos esferas idénticas, una en un horno caliente y la otra en un refrigerador. ¿Qué diferencia básica hay entre ellas inmediatamente después de sacarlas del horno y del refrigerador respectivamente?

a) En la cantidad de calor contenida en cada una de ellas.

b) En las temperaturas de cada una de ellas.

c) Una de ellas contiene calor y la otra no.

10.- En dos vasos idénticos que contienen la misma cantidad de agua a temperatura ambiente (21°C) son colocados, respectivamente, un cubito de hielo a 0°C y tres cubitos de hielo a 0°C. ¿En cuál situación el agua se enfría más?

a) En el vaso donde son colocados los tres cubitos.

b) En el vaso donde es colocado un cubito de hielo.

c) El agua se enfría igualmente en los dos vasos.

11.- Dos esferas del mismo material, pero con masas diferentes, se meten durante mucho tiempo al horno. Al retirarlas del horno se ponen inmediatamente en contacto. En esta situación:

a) Pasa energía por calor de la esfera de mayor masa a la de menor masa.

b) Pasa energía por calor de la esfera de menor masa a la de mayor masa.

c) Ninguna de las dos esferas cede energía por calor a la otra.

12.- Las mismas dos esferas de la pregunta anterior son ahora dejadas durante mucho tiempo en un refrigerador. En esa situación, al retirarlas e inmediatamente ponerlas en contacto:

a) Ninguna de las dos esferas posee calor debido a su baja temperatura.

b) Pasa energía por calor de la esfera de mayor masa a la de menor masa.

c) Ninguna de las esferas puede ceder energía por calor a la otra.

13.- Se observa que de un cubo sale energía por calor y, sin disponer de ninguna otra información, se puede decir que el cubo posee, respecto al ambiente que le rodea:

a) temperatura más elevada.

b) más energía.

c) más calor.

14.- Objetos de metal y de plástico son puestos en el interior de un refrigerador que se encuentra a (-20°C). Después de algunos días se puede afirmar que la temperatura de los objetos de plástico es:

a) Mayor que la temperatura de los objetos de metal.

b) Menor que la temperatura de los objetos de metal.

c) Igual a la temperatura de los objetos de metal.

ANEXO 2

Diferentes sensaciones de agua tibia

Objetivo: Conocer las diferentes sensaciones térmicas que produce el agua tibia.

Material: Reloj, 3 recipientes (uno con agua fría, otro con agua moderadamente caliente, otro con agua tibia).

1. Se introduce la mano izquierda en el agua caliente y la mano derecha en el agua fría. Se mantienen sumergidas un minuto.

2. Después se sacan ambas manos del recipiente y se introducen inmediatamente en el recipiente que contiene el agua tibia. Manténlas sumergidas dos minutos.

Preguntas:

1. Inmediatamente después de haber introducido las manos en el agua tibia, ¿la sensación térmica era la misma en las dos manos o era diferente?

2. Después de estar dos minutos en el agua tibia ¿la sensación térmica era la misma en las dos manos o era diferente?

3. ¿Es confiable o no el sentido del tacto en la percepción de cambios de temperatura?

El impacto de la divulgación de la ciencia en el desempeño escolar



**Carmen del Pilar Suárez Rodríguez^{1,2}, Maricela Ojeda Gutiérrez³,
J. R. Martínez Mendoza⁴ Cristina López Vázquez⁵**

¹Coordinación Académica Región Huasteca Sur, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Km 5 Carretera Tamazunchale San Martín, C. P. 96960, Tamazunchale, S. L. P, México.

²Escuela Normal de Estudios Superiores Plantel 5, La Cuchilla, C. P. 96960, Tamazunchale, S. L. P, México.

³Universidad Politécnica de San Luis Potosí, Urbano Villalón No. 500, C.P. 78363, Colonia la Ladrillera, San Luis Potosí, S.L.P., México.

⁴Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Zona Universitaria, San Luis Potosí, México.

⁵Escuela Primaria Mat. Ponciano Arriaga, Juan Bautista 129, Colonia Ponciano Arriaga, C. P. 78000. San Luis Potosí, S.L.P.

E-mail: pilar.suarez@uaslp.mx

(Recibido el 23 de Enero de 2016, aceptado el 17 de Mayo de 2016)

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de impacto en el aprendizaje de temas relacionados con la física del movimiento, a través de actividades de divulgación. Como herramienta de divulgación de la ciencia se diseñó un taller titulado “Los riesgos del movimiento” dirigido a 35 niños que cursan el tercer año de primaria con edades que oscilan entre los 8 y 10 años; llevado a cabo en “El Vagón de la Ciencia” ubicado en el Parque Tangamanga I en la ciudad de San Luis Potosí, México en coordinación con el Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología, organismo regulador de los proyectos científicos del Estado y el grupo de divulgación científica independiente “Ciencia en Contexto”. Para su diseño e implementación se tomó como base el Plan y Programa de Estudio del nivel básico, mismo que permitió la organización de secuencias didácticas en donde se privilegiaba la metodología de aprendizaje por descubrimiento y contextualizado con temáticas conceptuales de movimiento, las causas que lo originan, el movimiento como resultado de la interacción con el medio ambiente, los riesgos del movimiento, y el movimiento dentro del cuerpo humano. La metodología empleada modificó la percepción que tienen los niños hacia la física, incrementó el interés hacia la ciencia en general, hubo una sensible transformación con respecto a las actitudes hacia el trabajo autónomo y el trabajo colaborativo, se desarrolló una sólida concepción sobre el valor de la investigación como herramienta para plantear hipótesis, analizar variables, plantear alternativas de solución de problemas relacionados con la física del movimiento, así como la construcción de conocimientos relacionados a las temáticas abordadas. Se demuestra la trascendencia de vincular a la escuela primaria y el trabajo científico, donde la alfabetización científica tiene en este caso como objetivo el acercamiento a la población para que conozca y comprenda lo que ocurre a su alrededor, más allá del contexto escolar.

Palabras clave: Comunicación de la ciencia, aprendizaje por proyectos, revaloración CTS.

Abstract

On this paper we show the results of the promotion of science workshop “The risks of movement” and its impact on learning process related to movement. The workshop was directed to 35 third-graders between the ages of 8 – 10, the activities were organized and developed according to the contents established on the school year plan and study program for that grade. The workshop served as a trigger motivation for the realization of investigation projects in the classroom. It took place at the “Science Wagon” located in the Tangamanga Park I in the city of San Luis Potosi, Mexico with coordinating assistance from the Potosino Council of Science and Technology, regulating organism for scientific projects in the state. Didactic activities were presented based on the method by discovery contextualized with thematic that ranges from the concept of movement, its causes, the movement as a reaction from the interaction with the environment, the risks of movement, to movement inside the human body. The methods that were used modified the kids’ perception on physics, it also added to their interest on science in general, there was a sensitive transformation on the attitude towards autonomous work and collaborative work, a solid conception was developed on the value of investigation as a tool to raise hypotheses, analyze variables, raise alternatives to solve problems related to the physics of movement, as well as the construction of knowledge related to the boarded thematic. This shows the importance of links between elementary school and scientific work, where scientific literacy has as its target in this case to reach the people with knowledge and understanding of what happens around them beyond school context.

Key Words: Science communication, Investigation Projects, CTS reevaluation.

PACS: 01.40.-d, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

La interrelación que existe entre Ciencia, Tecnología y Sociedad se presenta de manera indisoluble en la actualidad. La educación en ciencias en donde se privilegiaba la transmisión de conocimiento científico solo entre la comunidad académica se ha tornado obsoleta y carente de sentido. La educación científica de las últimas dos décadas en nuestro país y en el mundo, intenta formar en nuestros estudiantes la comprensión de que la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad se influyen sistemáticamente.

La educación en ciencias planteada desde el Sistema Educativo Nacional a través de sus Planes y Programas de los distintos niveles educativos, se ha adecuado a las edades y estructuras cognitivas del alumnado, de allí que la ciencia escolar se fragmente en unidades didácticas específicas, aunque recientemente existe una preocupación por propiciar una transversalidad en el aprendizaje plasmadas en los documentos de reforma educativa. Así mismo, la preocupación de organismos internacionales como la UNESCO, OCDE, OEI, entre otros pone a la educación científica como un asunto prioritario para mejorar la calidad de vida de la ciudadanía. Comienzan a surgir algunos términos como “alfabetización científica”, “cultura científica” y “ciencia para todos”. En los tres casos, se trata de alcanzar un nivel de conocimientos, comprensión científica y transferencia de los mismos en situaciones que lo requieran. En palabras de Blanco López “*conlleva a buscar respuestas a diferentes necesidades que los alumnos pueden tener en su vida diaria y que podrían resumirse en:*

- *Preparación para el ejercicio de la ciudadanía de una sociedad democrática, una sociedad en clave de ciencia y tecnología y en mutua dependencia con ellas.*
- *Formación para ser usuario de la ciencia y de la tecnología y poder disfrutar de todas las posibilidades que éstas ofrecen.*

Preparación, general y específica, para el desarrollo de profesiones que requieren diferentes niveles de cualificación científico-tecnológica.”[1].

Las ciencias han encontrado otra manera en un contexto no formal de hacerse presentes en nuestra vida: la divulgación científica. Es, a través de diferentes medios de comunicación que nuestros alumnos y nosotros mismos podemos conocer los avances científico-tecnológico-sociales que se producen día con día en nuestro entorno. “La tarea de la divulgación consiste en re contextualizar en una situación comunicativa común [...] un conocimiento previamente construido en contextos especializados [entre científicos, con unos instrumentos comunicativos especiales]” [2].

En el caso de la Física el siglo XX, diversos conceptos científicos abandonaron los laboratorios y universidades para formar parte del vocabulario y del movimiento cultural de los pueblos, debido a su importancia en la revolución tecnológica, lo cual influyó grandemente en la percepción de la sociedad hacia la ciencia y esto fue posible gracias a la divulgación [2]. Por su parte, Tagüeña, Rojas y Reynoso [3] afirman que divulgar es recrear por algún medio el

conocimiento científico, la selección del medio depende en gran medida del objetivo de la divulgación que puede ser, promover el gusto por la ciencia para captar más alumnos a estudiar carreras de ciencias e ingeniería, fomentar la cultura científica en la sociedad, dar a conocer resultados, entre otros usos.

Existen varios formatos para hacer divulgación como son los medios masivos: televisión, radio, prensa y medios electrónicos; otros más personalizados, pero con menor cobertura, son las conferencias, los seminarios y los talleres. Sin embargo la distinción entre educación científica y divulgación científica no se encuentra en un simple cambio de escenario, sino que se encuentra en el enfoque pedagógico entre el aprendizaje formal (educación científica) y no formal (divulgación científica). En base a los trabajos de Hofstein y Rosenfeld [4] se plantean las diferencias entre la educación científica escolar formalizada y la divulgación científica en la Tabla I.

TABLA I. Características de la enseñanza formal y no formal de la ciencia.

Enseñanza formal de la ciencia	Enseñanza no formal de la ciencia
obligatoria y forma parte del currículo	voluntaria como parte del fuerza de un grupo de personas
está secuenciada y estructurada	está desestructurada y sin secuencia curricular específica
evaluada	no se evalúa formalmente, aunque se llega a obtener productos aluables.
tiene una fecha de inicio y término	abierta y flexible en el inicio y término de la información
orientada hacia la enseñanza	orientada al aprendizaje
entrada en el maestro y/o en el alumno	entrada en los participantes
utiliza un escenario escolar formalizado	utiliza cualquier escenario y forma de comunicación
tiene base en un mapa curricular	tiene como base los hallazgos científicos actuales
se encuentra restringida en tiempo y alcances	no tiene limitaciones y sus alcances trascienden la escolaridad formal
trabajo solitario y/o cooperativo	trabajo colaborativo y no contextualizado

El interés por contribuir en la formación de ciudadanos culturalmente alfabetizados en ciencias nos ha conducido a cuestionarnos sobre los siguientes aspectos:

- ¿Qué tipo de preconcepciones relacionados con el movimiento tienen los niños de entre 8 y 10 años?
- ¿Cómo pueden los niños relacionar los conceptos de física del movimiento con situaciones de la vida cotidiana?
- ¿Cómo los niños se pueden interesar en las ciencias y la investigación científica?
- ¿Cómo impacta un taller de divulgación de ciencias en el rendimiento escolar de los niños de primaria?

II. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para medir el impacto de los talleres de divulgación de ciencias en las distintas poblaciones estudiantiles se ha optado por el diseño de investigación acción que servirá para proporcionar información sobre cómo los estudiantes de ambos niveles educativos (superior y primaria) van transformando los conceptos de física, sus actitudes ante el aprendizaje de la ciencia, el uso de la investigación como herramienta para comprender el mundo que les rodea y la trascendencia de los talleres de divulgación en estas modificaciones conceptuales y actitudinales. Respecto a la investigación de corte cualitativo, Hernández Sampieri [5] afirma que este tipo de diseño favorece la comprensión tanto de los cambios grupales como individuales de los sujetos de estudio a la par que conlleva necesariamente la interacción constante con las personas, los procesos y los datos. La investigación acción práctica se caracteriza por lo siguiente:

- “Estudia prácticas locales del grupo.
- Involucra indagación individual o en equipo.
- Se centra en el desarrollo y aprendizaje de los participantes.
- Implementa un plan de acción para generar un cambio.
- El liderazgo se ejerce conjuntamente el investigador y uno o varios miembros del grupo o comunidad” [6].

La figura 1 muestra un mapa conceptual con los distintos momentos, planteados como ciclos, por los que atravesaremos para llevar a cabo esta investigación.

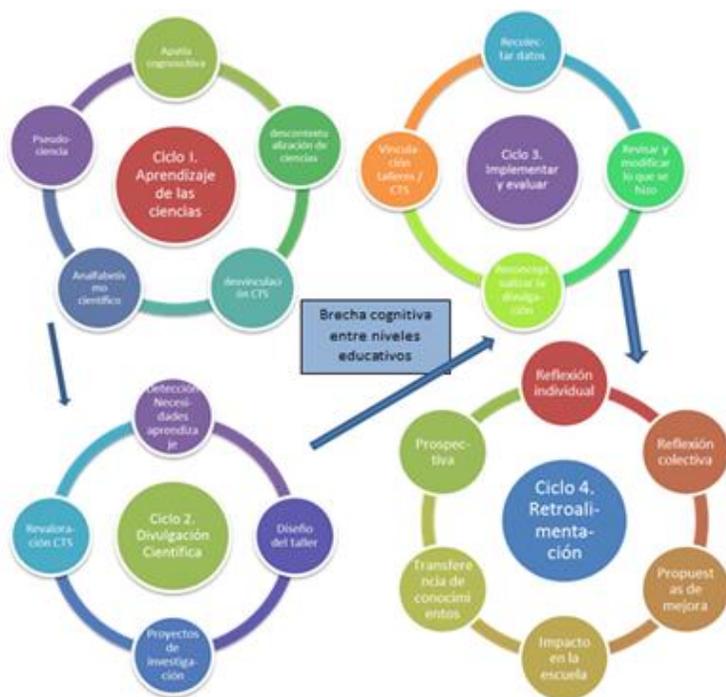


FIGURA 1. Mapa conceptual de ciclos investigación-acción práctica cualitativa.

El impacto de la divulgación de la ciencia en el desempeño escolar

En el ciclo uno se identifica en primer lugar los problemas detectados como producto de la observación del alumnado con respecto al aprendizaje de las ciencias; alumnos con apatía cognoscitiva hacia temas relacionados con ciencias, la descontextualización entre ciencia y sociedad en la enseñanza pero también en los procesos de aprendizaje. Otro de los problemas que muestra el ciclo uno es la desvinculación entre Ciencia, Tecnología y Sociedad, aunado con el analfabetismo científico, desconocimiento de los conceptos básicos y su transferencia a resolución de problemas cotidianos. Los alumnos confiaban en mayor proporción conceptos pseudocientíficos, alejándolos notablemente al uso de la ciencia y la investigación como herramientas de aprendizaje.

En el segundo ciclo se aprecia como la brecha cognitiva entre niveles educativos está presente no solamente por la fragmentación curricular en los diseños de planes y programas vigentes en todos los niveles educativos, sino por servir como obstáculo de aprendizaje. Se aprecia en un primer momento la divulgación científica como medio para paliar los problemas encontrados en las etapas iniciales, luego de detectar las necesidades de aprendizaje del alumnado de licenciatura. Las propuestas de los jóvenes estudiantes fueron la elaboración de proyectos de investigación que mostraran su reciente transformación cognoscitiva en el área de física pero también su recién revalorada apreciación hacia las ciencias. Por lo que los alumnos de este nivel, deciden llevar a cabo un taller de divulgación dirigido a niños de primaria.

En el tercer ciclo del diseño, los jóvenes cuestionan la implementación del taller dirigido a los niños de primaria. Los jóvenes de licenciatura se percatan del éxito de la implementación de talleres de divulgación como forma para romper con la brecha cognitiva entre niveles educativos, pero también con respecto a las necesidades educativas de niveles inferiores de formación académica. Confirman, con ello, que los talleres de divulgación son espacios propicios para generar una nueva cultura en la sociedad hacia la apreciación de las ciencias. La cuestión es ¿Qué más se puede hacer con lo aprendido?

En el ciclo cuatro del diseño, se lleva a cabo una retroalimentación sobre los logros individuales y colectivos ya sea a nivel grupal, pero también el impacto de los talleres en la población infantil y sus familias. Se reconceptualiza el aprendizaje de la física y su transferencia en situaciones cotidianas. Se valora el conocimiento de la física del movimiento como herramienta para percibir y evitar riesgos de accidentes además del cuidado del cuerpo humano. Se instrumenta una manera de valorar lo subjetivo de creencias y actitudes hacia temas relacionados con ciencia e investigación y el impacto que este tipo de formas de comunicación tienen en los estudiantes de cualquier nivel educativo.

IV. METODOLOGÍA

El trabajo fue desarrollado en varias etapas, inicialmente se buscó implementar estrategias didácticas centradas en el estudiante para promover el aprendizaje de la física en estudiantes de fisioterapia, además de modificar sus actitudes hacia la física y el trabajo científico así como mejorar sus habilidades de comunicación. Los estudiantes desarrollaron proyectos (llamados en este artículo proyectos primarios) y diseñaron un taller de divulgación llamado *La física del cuerpo humano*¹. Posteriormente se reestructura el taller combinando los resultados de los talleres *Ciencia divertida* (diseñado por alumnas de educación) y el anteriormente mencionado y se cambia de escenario convirtiéndose en el nuevo taller *los riesgos del movimiento* el cual tiene como sujetos participativos niños de tercer año de primaria; su implementación, efectos sobre el aprendizaje de los niños, su influencia en la generación de nuevos proyectos (proyectos secundarios) y los cambios conceptuales se presentan en este artículo. También se reportan resultados del impacto de la actividad de divulgación en el entorno de los niños, sus conocimientos sobre ciencia y sus cambios en actitudes y creencias. A su vez los niños crearon su propio taller *Museo la ciencia del movimiento* que fue presentado en niños de grados inferiores de la misma escuela primaria.

Las etapas se describen a continuación:

Fase I. Planeación e implementación de Proyectos Primarios. Los alumnos de nivel superior de las licenciaturas de fisioterapia, ingeniería y educación debían desarrollar actividades lúdicas (fisioterapia e ingeniería) y situaciones didácticas (educación) donde se favoreciera en otros el conocimiento de la física del cuerpo humano, su funcionamiento y los riesgos del movimiento. Los trabajos fueron desarrollados con la metodología de Aprendizaje Orientado a Proyectos Colaborativos y Contextualizados ABPCC [7]. Dentro de los lineamientos del proyecto se solicitaba el diseño e implementación de una actividad de divulgación para promover las temáticas antes mencionadas.

Fase II. Comunicación y evaluación de los Proyectos Primarios. Originalmente hicieron la presentación en un taller en la SNCyT llamado *La física del cuerpo humano*, donde a partir de los resultados de los instrumentos de evaluación se detectaron algunos puntos de mejora de la actividad, uno de ellos fue el conocer el impacto de la actividad de divulgación en la población a la cual estaba dirigida y se deseaba conocer cómo influye en los participantes y en el entorno escolar y familiar. Se reestructuró el taller, que a través del juego, propiciaba el aprendizaje de las temáticas abordadas. La reingeniería permitió el diseño de actividades de aprendizaje acordes a los contenidos del Plan y Programas de estudios vigentes en el país para tercer grado de educación primaria. El

propósito de esta fase, consistió en vincular a la escuela con nuevas ideas, tecnologías, materiales y procesos que no siempre llegan a ella permitiendo a los niños tener contacto con nuevas experiencias de aprendizaje e incrementar su motivación y gusto por aprender, adjudicándoles un papel de alimentadoras de la mente. Dicha actividad de reingeniería educativa desembocaría en la realización de proyectos de investigación (Proyectos Secundarios) por parte del alumnado de nivel primaria en cuya última fase de los proyectos tendrían ellos la función de divulgadores de sus propios productos de investigación, a niños de grados inferiores al suyo y personal académico de la institución.

Fase III. Planeación, desarrollo e implementación de Taller *Los riesgos del movimiento* como primer aporte de los Proyectos Secundarios. Los objetivos del taller se orientaban a promover el gusto por la ciencia; aportar una noción inicial sobre los temas que se abordarían en el bloque IV “El movimiento” del programa oficial vigente en educación primaria; favorecer la comprensión de conceptos para clases formales posteriores y; fomentar la realización de proyectos de investigación. Un indicador del impacto sería entonces el número de proyectos desarrollados a partir de la temática expuestas en el nuevo taller que tuvo como escenario el Vagón de la Ciencia a través del Programa *El Club de los Curiosos* ubicado en el Parque Tangamanga I, en coordinación con el Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología (COPOCYT) y el grupo de divulgación científica independiente Ciencia en Contexto del que las tres coautoras de este documento forman parte. El siguiente diagrama muestra las actividades desarrolladas durante el taller de divulgación *Los riesgos del movimiento*.

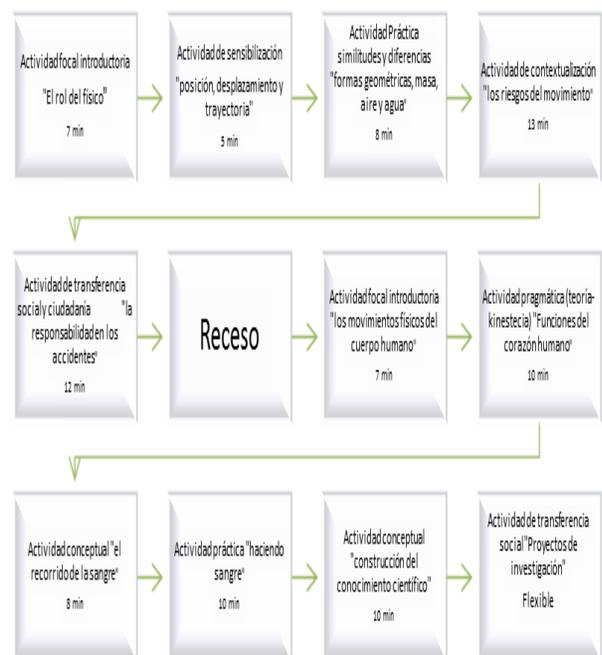


DIAGRAMA 1. Actividades del taller *Los riesgos del movimiento*.

Descripción del taller *Los riesgos del movimiento*

Actividad focal introductoria [8]: *El rol del físico*, duración 7 min. Se inicia con una presentación al aire libre y se explica sobre las funciones que realiza un físico de profesión y los grados académico capturándose la atención de los niños ya que relacionaban al doctor con tratamientos médicos.

Actividad de sensibilización [9]: *posición, desplazamiento y trayectoria*, duración 5 min. Escenario: Vagón de ciencias, en donde se les pide a los niños que cierren los ojos y el tallerista en silencio cambia de posición, al abrirlos, los niños pudieron detectar el cambio de posición. Los participantes, con ayuda de un dibujo, explicaron que había ocurrido y se definieron los conceptos físicos: posición, desplazamiento y trayectoria.

Actividad Práctica [9]: *similitudes y diferencias formas geométricas, masa, aire y agua*, duración 8 min. Se dejan caer objetos de diferente geometría y masa en el aire y en agua para que observen y registren las similitudes y diferencias. Se deslizan posteriormente en un plano inclinado con diferentes superficies para mostrar los efectos de la fricción y las fuerzas como resultado de la interacción con el medio ambiente.

Actividad Conceptual: los niños dibujaran situaciones en las cuales se produjera la mayor rapidez utilizando los materiales vistos en la actividad práctica.

Actividad de contextualización [9]: *los riesgos del movimiento*, duración 13 min. Dentro del tema los riesgos del movimiento se colocaron 2 huevos en un recipiente cada uno a uno se le colocó una cinta simulando cinturón de seguridad, antes de dejarlos caer se les pregunta que ángulo debe dársele al plano inclinado para que un conductor fuera responsable y otro irresponsable.

Actividad de transferencia social y ciudadanía [10]: *la responsabilidad en los accidentes*, duración 12 min. Los niños compartieron algunas experiencias de la vida cotidiana con respecto a situaciones de riesgo al trasladarse en vehículos y la manera en que pueden prevenir o evitar accidentes en la vía pública.

Receso

Actividad focal introductoria 2: *los movimientos físicos del cuerpo humano*, duración 7 min. Se hicieron ejercicios de coordinación y para introducirlos al tema del movimiento en el cuerpo humano se les pidió que sintieran los latidos de su corazón explicando la posición y tamaño de éste.

Actividad pragmática (teoría-kinestésica) [11, 12] *Funciones del corazón humano*, duración 10 min. Se les mostró un modelo de corazón, se les explicó las funciones

El impacto de la divulgación de la ciencia en el desempeño escolar de este así como sus partes, y con ayuda de bolas de unicel limpia pipas y pintura crearon su propio modelo.

Actividad conceptual "el recorrido de la sangre", duración 8 min. Utilización de un video realizado por una de las coautoras que muestra el recorrido que hace la sangre a través del cuerpo humano y su relación con la física del movimiento [13].

Actividad práctica [13, 14] "haciendo sangre", duración 10 min. Se les explicó el recorrido de la sangre e hicieron otro modelo explicando cada uno de los componentes al añadir dentro de un recipiente bolas de hidrogel, gel, diamantina agua y colorante.

Actividad conceptual construcción del conocimiento científico [14], duración 10 min Durante el desarrollo de las actividades se plantearon diversas preguntas relacionadas con los conocimientos y valores a potencializar, donde los niños construyeron sus propias definiciones solo guiados por el tallerista.

Actividad de transferencia social *Proyectos de investigación*. Tiempo Flexible para el diseño y elaboración de Proyectos de Investigación, así como su propuesta correspondiente de divulgación. Tomando en cuenta que el trabajo del que aprende es determinante para el desarrollo de su capacidad potencial, el modo y la profundidad en que el alumno trata las informaciones es realmente lo que determina la calidad del aprendizaje [15].

Fase IV. Comunicación y evaluación de los Proyectos Secundarios. En esta etapa los alumnos se organizaron de acuerdo a sus equipos y metas de proyecto para presentar los resultados de sus investigaciones empleando diversos materiales y actividades que iban desde la exposición hasta la experimentación creando ahora ellos un espacio de divulgación dentro de su escuela titulado *Museo la Ciencia del Movimiento* donde invitaron a niños de primero y segundo grado así como a los profesores de la escuela.

Se formaron equipos de 5 personas escogiendo a sus integrantes de forma libre, es decir, el criterio que se siguió fue la afinidad, ya que la organización que regiría todo el trabajo por proyectos de investigación era en grupo, siendo "un proceso de construcción colectiva y continua de conocimientos, habilidades, actitudes y valores que se estructuran a partir de una temática determinada" [16]. Se les dieron las indicaciones del llenado del diario de campo y de los lineamientos para la elaboración del proyecto

Fase V. La recopilación de datos para la investigación.

Se diseñaron y aplicaron instrumentos de evaluación para conocer los cambios en los conocimientos, actitudes, valores y habilidades en los niños de primaria.

a. **Evaluación sobre conceptos de ciencia** (pretest y postest) ver Apéndice I. en esta parte se desea conocer sus concepciones sobre fuerza, fricción, movimiento,

mecanismo, trayectoria, sistema circulatorio, los riesgos del movimiento y primeros auxilios. También se hicieron entrevistas e interrogatorios para indagar más sobre sus concepciones durante el desarrollo de las situaciones didácticas.

b. **Actitudes hacia la ciencia.** Se elaboraron dos encuestas de opinión, una para niños y otra para sus padres. La de niños constaba de 9 preguntas abiertas que fueron medidas en dos momentos antes y después de la visita. La de padres de familia, 10 preguntas con escala Likert solo se aplicó al término de la intervención de divulgación. La encuesta incluía preguntas acerca de la calidad de los proyectos y los cambios observados en sus hijos luego del desarrollo del proyecto y su propia percepción de la actividad así como si había influido o no en su gusto por la ciencia.

c. **Actitudes hacia el trabajo de investigación.** Para conocer la influencia tanto de la actividad como del trabajo en proyecto, se aplicó una encuesta abierta a los niños sobre la importancia de la investigación y su significado, su metacognición, las actitudes hacia el trabajo colaborativo contextualizado y hacia la ciencia, los valores y las habilidades que influyeron en la culminación exitosa del proyecto.

El proceso fue registrado por la profesora del grado en un diario de campo con ayuda de grabaciones en audio y fotografías. Los niños llevaban un cuaderno titulado por ellos "Agenda de trabajo" donde registraron las actividades que hacían y la información obtenida, la cual era valorada con una lista de cotejo.

Las actividades fueron cotejadas y medidas a través de instrumentos que permitieron una evaluación 360° que tomaba en cuenta a todos los actores tanto de los proyectos primarios, como secundarios, facilitadores, padres de familia y otros agentes. Se privilegió la evaluación, la autoevaluación y coevaluación con indicadores claros referentes a la organización, logro de propósitos, resolución a las preguntas planteadas, cumplimiento con las actividades del plan de trabajo, la exposición de presentar los proyectos y su honestidad acerca del grado de participación en el desarrollo de las tareas. La heteroevaluación por parte del docente se hizo con una rúbrica que medía la organización del equipo, integración de contenidos académicos y sistema de divulgación, logro de propósitos, resolución y calidad en las explicaciones a las preguntas planteadas, cumplimiento de las actividades propuestas, uso de fuentes de información, características de la exposición, honestidad, cumplimiento del tiempo acordado y el planeamiento de nuevas preguntas por responder, con ellas se valoraron los logros de cada equipo en cuanto a conocimientos colateralmente al postest y habilidades comunicativas, de trabajo en equipo, selección e investigativas. Valores como el grado de compromiso, honestidad, responsabilidad y respeto y actitudes como la autonomía y actitudes hacia la ciencia, hacia el cuidado del cuerpo humano.

IV. EL CONTEXTO FORMAL ESCOLARIZADO

La escuela primaria se localiza en la zona urbana de la ciudad de San Luis Potosí. Como resultado de una encuesta realizada a los padres de familia de esta localidad¹ podemos resumir los siguientes datos:

Corresponden a un estrato socio económico medio-bajo; la escolaridad mayoritaria de las madres de familia está en el bachillerato con un 22% y el de los padres es la secundaria con un 23%. Esto influye considerablemente en el apoyo extraescolar que pudieran recibir los niños ya que algunas de las temáticas del curriculum oficial resultan complejas para los padres de familia, quienes se ven imposibilitados para orientar a sus hijos. Respecto a los apoyos didácticos disponibles en los hogares, el 80% cuenta con diccionarios, enciclopedias, libros, revistas de consulta y solo el 10% puede acceder a una computadora con internet.

El grupo escolar formal está integrado por 18 niñas y 17 niños que oscilan entre los 8 y 10 años de edad con las siguientes características psico-evolutivas principales:

- Se encuentran en la etapa operacional concreta (Piaget) [17] Esta etapa de desarrollo cognitivo se significa por el razonamiento lógico en el manejo de información concreta y tangible, como producto de una acción interiorizada, reversible e integrada; por lo que su nivel de abstracción (manejo de conceptos) aún no lo tienen desarrollado.
- Se reconocen con capacidades y limitaciones para relacionarse con el mundo que les rodea, aceptar las normas, adoptar comportamientos cooperativos y desarrollar actitudes acordes a los valores culturales y sociales aceptados dentro de su comunidad [18].
- Son capaces de analizar, seleccionar y discriminar la información relevante.
- Sus periodos de atención-concentración [19] tienen una variación de entre 12 y 15 minutos, información relevante para el diseño de situaciones didácticas por parte del profesorado.

Para una mejor comprensión de los procesos cognitivos de estos alumnos y alumnas, se les aplicó una adaptación comercial del cuestionario desarrollado por Neil Fleming [20] con el objetivo de medir los canales perceptuales preferentes Visual, Auditivo o Kinestésico (VARK) que consta de 16 reactivos. El resultado es que el 40% de los niños y niñas predomina el canal perceptual kinestésico, el 30% predomina el canal auditivo, mientras que el resto se ubican en el canal visual. Esto se puede observar claramente en las asignaturas de Matemáticas y de Ciencias Naturales. En general, los niños y niñas de este grupo se muestran más confiados al realizar actividades en donde se involucre la manipulación de material concreto. Les gusta ser escuchados, pero cuando ellos son los receptores, tienen dificultades para recibir el mensaje de sus compañeros resultándoles difícil colocarse en el papel de los demás [6]. Por ello, es nuestra labor encontrar aquello que se adapte

mejor con el grupo y los individuos que lo conforman [21, 22, 23, 24].

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los cambios conceptuales sobre la Ciencia. Aun cuando es sabido que cambiar los preconceptos es tarea difícil y estas permanecen a través del tiempo y de la instrucción [25] se ha detectado la modificación de ciertas ideas previas en los niños, del análisis del examen diagnóstico se ha encontrado que la mayoría de los alumnos relaciona el movimiento con las acciones que hacen las personas como: jugar, correr y brincar; también asocian dicho término con el viento, la rotación de la Tierra, un automóvil, lo cual implica que lo vinculan con el entorno, pero contradictoriamente a ello 30 niños verbalizaron que solo los seres vivos tienen movimiento; asumen que el movimiento se posee como una característica inherente al objeto, como parte de sí mismo, por ejemplo algunos dijeron que el movimiento estaba en los huesos. En el examen final se observa un cambio conceptual, argumentan que el movimiento se presenta en los seres vivos pero también en las cosas, que el movimiento se adquiere cuando se aplica una fuerza o se actúa sobre un objeto, el niño *Da* por ejemplo dibuja las hojas de los árboles moviéndose por la acción del viento. Refieren que algo hace que las cosas se muevan, y que dentro del cuerpo humano la sangre se mueve ya que recorre una trayectoria dentro del cuerpo y el corazón se encarga de bombearla, es decir, es quien aplica la fuerza, por ejemplo, Saúl y Héctor explicaron el funcionamiento del corazón empleando sus manos al abrir y cerrarlas representando a las aurículas y ventrículos del corazón y simulando el movimiento de la sangre. Modificando así mismo el concepto de trayectoria ya que originalmente asociaban este concepto con imágenes tal como: una casa, un camino, una montaña y un tractor; la mayoría de los alumnos asoció la palabra con el vocablo tractor, se considera que se debió al parecido en la pronunciación de ambas en español. Por ello, al solicitarles una definición, escribían que trayectoria era un carro o un transporte.

Referente al concepto de fuerza, inicialmente lo vinculan con la capacidad de las personas para cargar objetos pesados, incluso en sus dibujos plasman personas levantando pesas o cajas y, algunos otros, muestran en sus muñecos los músculos del brazo muy marcados (Figura 1). El examen final mostró que relacionan la fuerza como “lo que necesitan para mover o incluso detener *un objeto y cambiar su forma*” aunque no hicieron alusión a la relación de fuerza con un cambio por ejemplo en la velocidad de los objetos. Aun cuando seguirán diciendo que tenían fuerza, lo cual indica que mantienen la concepción de que la fuerza se posee y que se puede transmitir.

En cuanto a la fricción, inicialmente dos niños la asocian con rozamiento, el resto tiene ideas muy diferentes de lo que significa el término, la niña *Na* por ejemplo afirma que es un juguete de trapo, posterior a la intervención

El impacto de la divulgación de la ciencia en el desempeño escolar verbalizaron a la fricción como resultado del rozamiento y al pedir que la representaran dibujaron objetos sobre superficies con distinta rugosidad y verbalizaron que se los objetos moverían a velocidades diferentes como resultado de la fricción.

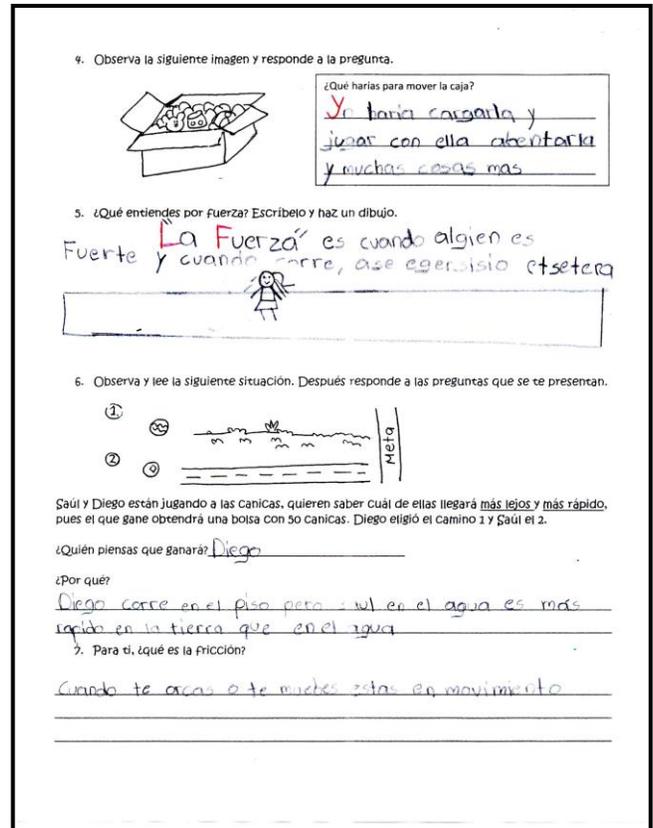


FIGURA 2. Dibujos de una niña que indica que la fuerza es cuando alguien es capaz de levantar objetos pesados, corre y hace ejercicio.

El tema de los mecanismos fue uno de los que más conflicto causó, algunos mencionan que servían para moverse o mover las cosas, y lo asociaban con los dibujos de la lancha y el reloj, sin embargo, al solicitarles un ejemplo, dibujaban desde un carro hasta los pulmones o plantas. La mayoría carecía por completo del concepto de mecanismo ya que se limitaron a dibujar objetos similares a los que aprecian en el instrumento de evaluación. En el posttest se les siguió dificultando definir el concepto pero lo ejemplificaban correctamente, por ejemplo incluyeron en los dibujos al motor, engranes y forma de algunos objetos como las llantas, argumentando que la geometría era importante para que este pudiera moverse, por ejemplo que las llantas son redondas y no cuadradas y los aviones terminan en punta para facilitar el movimiento. Esto ejemplifica además que fueron capaces de identificar que el movimiento de los objetos es posible debido a la interacción con el medioambiente aun cuando no lo verbalizaron.

Para evidenciar su conocimiento acerca de los riesgos del movimiento se utilizó una imagen de una calle y una escuela con diferentes situaciones inapropiadas que podrían causar un accidente, no hubo mayor dificultad para identificar, por lo menos, cinco acciones dentro del dibujo. Pero a los primeros lo relacionan con medicamentos, doctores y maletines; y tres con la atención de accidentes y heridos.

Sobre la investigación

Inicialmente consideraban a la investigación como buscar información en periódicos, libros e internet. Posteriormente declararon reconocer que hacer investigación era mucho más complejo, deberían de identificar un problema y que debería iniciar planteando preguntas acerca de lo que se deseaba investigar, algunas de las preguntas planteadas por los niños para iniciar su proyecto de investigación fueron ¿por qué cuando nos caemos nos sale sangre? y ¿cómo se hacen los moretones?

¿por qué la sangre es roja?, ¿qué contiene la sangre?, ¿cuál es la función del corazón?, ¿por qué cuando corremos el corazón late más rápido?, ¿cuál es la función de la sangre?, ¿cuál es la función de las venas y arterias?, ¿cómo se mueven los aviones y cómo los carros?, ¿cómo se producen los huracanes?, ¿por qué se mueven las cosas?, ¿qué es la gravedad?, ¿cómo se evitan los accidentes automovilísticos?, ¿para qué sirve el cinturón de seguridad?, ¿cómo influye la superficie sobre el movimiento de los objetos?. El planteamiento de preguntas resulta importante debido a que promueven el pensamiento profundo y llevan a la indagación.

Identificaron además la necesidad de realizar experimentos para ayudarse a responder las preguntas, la niña *CI* mencionó que en el caso de equipo del accidente automovilístico podían hacer el experimento del huevo y compartirlo en la escuela. Y así surgió la idea de que los resultados los de sus investigaciones los podrían compartir en un taller al que llamarían museo.

De esta manera, la actividad de divulgación dio inicio a la realización de los proyectos de investigación que surgieron en el grupo, comenzando con la conformación de nueve equipos que eligieron una o dos preguntas de las anteriormente mencionadas.

Posterior a la selección de las interrogantes por investigar, cada uno de los equipos realizó un plan de trabajo que contenía las actividades a realizar para responder a las preguntas planteadas, favoreciendo la autonomía de los estudiantes y su autorregulación en sus actividades que desembocarían en un aprendizaje de las ciencias.

A lo largo de 4 semanas los niños llevaron a cabo las actividades diseñadas por ellos, las cuales fueron variadas y diversificaron las fuentes de información empleando internet, enciclopedias, consulta de libros sobre las temáticas seleccionadas, entrevistas a especialistas en la materia (enfermeras, doctores, mecánico, paramédico), así como algunas actividades experimentales, resaltando la puesta en práctica, nuevamente, de algunas actividades

llevadas a cabo en el “vagón de las ciencias”, tales fueron: la elaboración del modelo de la sangre y la demostración de la importancia del uso del cinturón de seguridad y la rapidez a través del uso de dos huevos, recipientes de plástico, cinta y un plano inclinado elaborado con un papel cascarón o cartón.

Los avances de cada uno de los equipos fueron monitoreados por el docente a cargo, teniendo el rol de guía en el proceso de aprendizaje de los alumnos.

Es importante señalar los beneficios que trajo consigo dicho trabajo, ya que en el desarrollo de las clases, cuyos temas estaban directamente relacionados con las preguntas seleccionadas por los equipos, los niños tuvieron el papel de solucionador de dudas, de reforzador de la clase así como aporte de ideas y conceptos que favorecieron la comprensión de las temáticas.

Para concluir y comenzar la fase de comunicación de los proyectos de investigación, se realizó un consenso en el grupo para seleccionar la forma más idónea de presentar los resultados, a la vez esta estaría íntimamente relacionada con los intereses de los estudiantes. La modalidad seleccionada fue montar un museo titulado “Museo de la ciencia del movimiento”, argumentando los alumnos que lo titularían de esa manera porque todas sus preguntas y respuestas estaban relacionadas con el movimiento, se habían apropiado de cada uno de los conceptos que ellos indagaron.

Enseguida se prosiguió a la elección de los asistentes al museo, seleccionando a los alumnos y maestros de un primer y segundo grado.

La presentación se haría en un aula de la escuela primaria, empleando materiales elaborados por los alumnos tales como: maquetas, láminas, rotafolios, esquemas, dibujos, fotografías, modelos de la sangre y el corazón, etc.

Llegado el día de la presentación se observó claramente una de las bondades de la divulgación y el trabajo por proyectos, los niños mostraban agrado hacia las ciencias naturales y las temáticas a explicar (énfasis en física) manifestando su entusiasmo y preparación.

Al comenzar las presentaciones se decidió dentro del grupo explicar en primera instancia las actividades realizadas en el vagón de las ciencias, actividad que influyó de manera decisiva en la elección de la forma de presentar el trabajo; asimismo se dio a conocer el proceso que siguieron durante los proyectos e invitaron a los alumnos de grados inferiores a pasar a su museo y comenzar con las actividades, dividiéndolos en grupos para que escucharan y llevaran a cabo las actividades propuestas por cada uno de los equipos, invitando a los maestros titulares de cada grupo a incorporarse a la dinámica de trabajo.

Los padres de familia expresaron el notorio interés que los niños habían mostrado por la clase de ciencia y su deseo por la investigación y la experimentación, solicitaron se les invitara nuevamente a participar en actividades de divulgación ya que habían modificado las actitudes de los niños hacia la ciencia y la escuela misma.

VI. CONCLUSIONES

Observamos que a través de actividades de divulgación de la ciencia, en el marco de enseñanza no formal muy cercanas al escenario escolar, tienen un impacto importante en la comprensión del alumno en temas relacionados con su cotidianidad, pero de conceptualización no trivial. El tipo de actividades propuesto son complicadas de articular en escenarios formales, pero de relativa facilidad en escenarios no-formales, propios de la divulgación científica. De los resultados podemos inferir que el diseño de actividades “híbridas” es una buena opción para llegar al conocimiento significativo de los alumnos en edades tempranas. Los resultados obtenidos plantean una base para indagar en trabajos posteriores, acerca de la construcción de la zona empírica y como enriquecerla.

Es importante resaltar que un indicador del impacto de las actividades de divulgación y el desarrollo de proyectos colaborativos y contextualizados, los alumnos pudieron adquirir conocimiento sobre física y el desarrollo de la investigación, mejoraron sus habilidades de comunicación y su desempeño en el trabajo autónomo y colaborativo. El desarrollo de las actividades de divulgación permitió realizar una transferencia de los conocimientos de los estudiantes en otras esferas, a través de los talleres de ciencias influyeron en otros a diversos niveles escolares y contextos socioculturales, pero lo más importante es que se volvieron multiplicadores de lo aprendido para crear un círculo virtuoso de aprendizaje y se convirtieron en factor de cambio de su entorno familiar, de aquí la importancia de implementar estrategias de enseñanza aprendizaje que dejen huella más allá del contexto escolar.

Los docentes de la escuela primaria reconocieron que aun cuando el trabajo en proyectos requiere de un perfil docente específico, pero puede ser llevado a cabo en la escuela primaria obteniendo resultados favorables reflejados en los aprendizajes logrados en los alumnos [26] así como su actitud hacia las ciencias [27], reconociendo el impacto de la actividad de divulgación en la inclinación de los niños hacia la asignatura pero en particular en las temáticas abordadas y fue determinante en la selección del tema a tratar en el proyecto de divulgación.

REFERENCIAS

- [1] Blanco López, A., *Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia*, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias **1**, 70-96, (2004).
- [2] Jou, D., *La divulgación de la física en el siglo XX*. España: s/e. (2002) disponible en: <http://quark.prbb.org/26/026037.htm>
- [3] Tagüeña, J., Rojas, C. & Reynoso, E., *La divulgación de la ciencia en México en el contexto de la América Latina en 1er Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+1*. México: Dirección General de Divulgación de la Ciencia. UNAM, (2006).

- El impacto de la divulgación de la ciencia en el desempeño escolar*
- [4] Hofstein, A. & Rosenfeld, S., *Bridging the Gap between formal and informal science learning*, The Weizmann Institute of Science **28**, 87-112 (1996).
- [5] Hernández Samieri, R. et al., *Metodología de la investigación* [4ª ed], (McGrawHill, México, 2006).
- [6] Shibeci, R. A., *Attitudes to Science: An update. Studies in Science Education* (16a ed.), (Gernika, México, 1984).
- [7] Suarez Rodríguez, C. P., Ojeda Gutiérrez, M., Mora, C., Martínez, J. R., *El efecto del aprendizaje en proyectos colaborativos y Contextualizados en la percepción del alumno sobre la Física y su conexión con el mundo real*, Tlatemoani, Revista académica de investigación **1**, No. 14 (2013).
- [8] Díaz, M., *Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias. Orientaciones para promover el cambio metodológico en el espacio europeo de educación superior*, (Universidad de Oviedo, España, 2005).
- [9] Kolb, D., *Experiential learning: experience as the source of learning and development*, (Prentice Hall, USA, 1984).
- [10] Pansa González, M., *Fundamentación de la didáctica* (16a ed.), (Gernika, México, 2007).
- [11] Mastache, A., *Formar personas competentes. Desarrollo de competencias tecnológicas y psicosociales*, (Noveduc, Argentina, 2007).
- [12] Kemmis, S., *El curriculum: más allá de la teoría de la reproducción* (2a ed.), (Morata, España, 1993).
- [13] Pozo J. I. & Gomez-Crespo, M. A., *Aprender y enseñar ciencia*, (Morata, España, 1998).
- [14] Vázquez, A. & Manassero, M. A., *Una evaluación de las actitudes relacionadas con la ciencia*, Enseñanza de las Ciencias **15**, 199-213 (1997).
- [15] Zárate-Martín, A., *Aprendizaje significativo y geografía de las representaciones mentales*, Anales de Geografía de la Universidad Complutense **15**, 831-840 (1995).
- [16] Mañú, J. M., *Docentes competentes. Por una educación de calidad*, (Narcea, España, 2011).
- [17] López A.M. & La Cueva, A., *Enseñanza por proyectos: una investigación en sexto grado*, Revista de Educación, **342**, 579-604 (2007).
- [18] Berk, L., *Child development* (7th ed). (Pearson, USA, 2006).
- [19] Pérez-Delgado, E & García-Ros, R. (compiladores) (1991) *La Psicología del Desarrollo Moral*. España: Siglo XXI.
- [20] Fleming, N., *The VARK questionnaire. Versión 7.1. How Do I learn best?* (2001-2011). Disponible en: <http://vark-learn.com/the-vark-questionnaire/>
- [21] Amar Amar, J. J. et al., *Desarrollo infantil y construcción psicológica del mundo social*, (Uninorte, México, 2004), pp. 55-58.
- [22] Greathead, P., *Optimal learning pattern for 10-year-old students*, (ADDISS, Australia, 2000). Disponible en línea: <http://www.addiss.co.uk/languageorders.htm>
- [23] Coronado, M., *Competencias sociales y convivencia*, (Noveduc, Argentina, 2008).

Carmen del Pilar Suárez Rodríguez et al.

[24] Díaz Barriga Arceo, F. & Hernández Rojas, G., *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*, (McGraw-Hill, México, 2002).

[25] Espíndola Castro, J. L. & Espíndola Castro, M. A., *Pensamiento crítico*, (Pearson, México, 2005).

[26] Lacueva, A., *Proyectos de Investigación en la escuela: Científicos, Tecnológicos y Ciudadanos*, *Revista de Educación* **323**, 265-288 (2000).

[27] Clement, J., *Students preconceptions in introductory mechanics*, *American Journal of Physics* **50**, 66-71 (1982).