

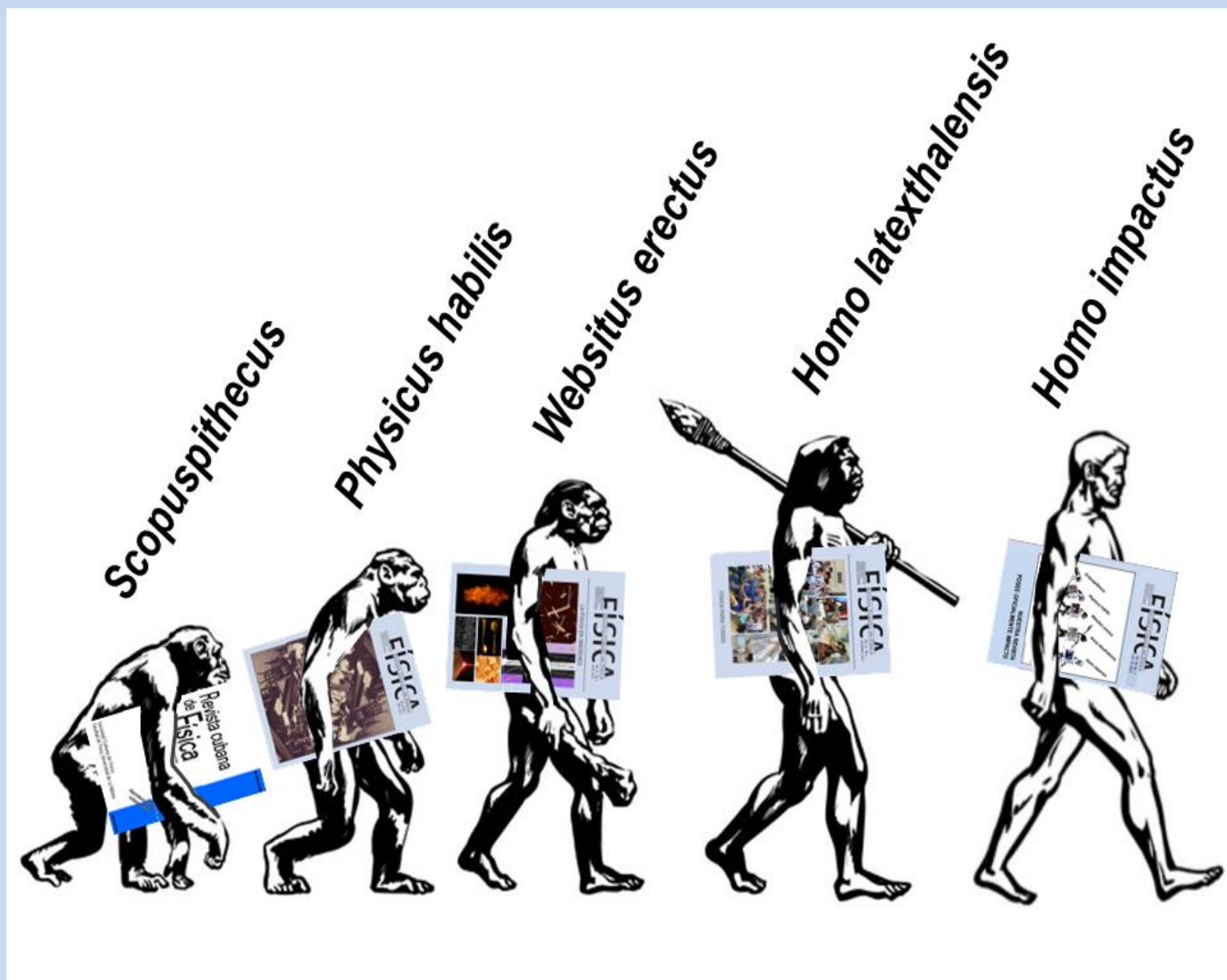
# FÍSICA

REVISTA CUBANA DE FÍSICA

# FÍSICA

Sociedad Cubana de Física  
y Facultad de Física,  
Universidad de La Habana

Vol.40 No.1  
JULIO, 2023



**ESTA REVISTA POSEE FACTOR DE  
IMPACTO OFICIALMENTE**

**Portada:** Una aproximación humorística a la evolución reciente de nuestra revista (por E. Altshuler). Ver "Nuestra física en noticias".

**EDITOR**

E. ALTSHULER  
Facultad de Física, Universidad de La Habana,  
[ealtshuler@fisica.uh.cu](mailto:ealtshuler@fisica.uh.cu)

**EDITOR EJECUTIVO**

E. RAMIREZ-MIQUET  
[ermiquet@gmx.com](mailto:ermiquet@gmx.com)

**EDICIÓN ELECTRÓNICA**

A. C. IGLESIAS-JAIME,  
CUJAE, La Habana  
[iglesiasa692@gmail.com](mailto:iglesiasa692@gmail.com)

M. ESPINOSA  
Royal Melbourne Institute of Technology,  
Australia,  
[marcos.espinosa.cuarts@rmit.edu.au](mailto:marcos.espinosa.cuarts@rmit.edu.au)

**EDITORES ASOCIADOS**

O. ALMORA  
Universitat Rovira i Virgili  
[almora@uji.es](mailto:almora@uji.es)

A. J. BATISTA-LEYVA  
Instec, La Habana  
[abatista@instec.cu](mailto:abatista@instec.cu)

W. BIETENHOLTZ  
UNAM, México  
[wolbi@nucleares.unam.mx](mailto:wolbi@nucleares.unam.mx)

J. O. FOSSUM  
NTNU, Noruega  
[Jon.fossum@ntnu.no](mailto:Jon.fossum@ntnu.no)

J. -P. GALAUP  
Lab. A. Cotton (CNRS) & Univ. Paris-Sud  
[Jean-pierre.galaup@lac.u.-psud.fr](mailto:Jean-pierre.galaup@lac.u.-psud.fr)

L. H. GREENE  
National Magnetic Lab, U.S.A.  
[lhgreene@magnet.fsu.edu](mailto:lhgreene@magnet.fsu.edu)

J. LLOVERA  
CUJAE, La Habana  
[llovera@electronica.cujae.edu.cu](mailto:llovera@electronica.cujae.edu.cu)

O. de MELO  
Facultad de Física, Universidad de La Habana  
[omelo@fisica.uh.cu](mailto:omelo@fisica.uh.cu)

O. MULET  
Facultad de Física, Universidad de La Habana  
[mulet@fisica.uh.cu](mailto:mulet@fisica.uh.cu)

P. MUNÉ  
Facultad de Ciencias, Universidad de Oriente  
[mune@cmt.uo.edu.cu](mailto:mune@cmt.uo.edu.cu)

T. POESCHEL  
University Erlangen-Nuremberg  
[thorsten.poeschel@fau.de](mailto:thorsten.poeschel@fau.de)

G. ROJAS-LORENZO  
Instec, La Habana  
[german@instec.cu](mailto:german@instec.cu)

T. SHINBROT  
Rutgers University  
[shinbrot@soemail.rutgers.edu](mailto:shinbrot@soemail.rutgers.edu)

C. A. ZEN-VASCONCELOS  
Univ. Federal Rio Grande do Sul  
[cesarzen@cesarzen.com](mailto:cesarzen@cesarzen.com)

**TODOS LOS ARTÍCULOS EN FORMATO-e:**  
[www.revistacubanadefisica.org](http://www.revistacubanadefisica.org)

**COORDENADAS**

- 2 ¿DESTRONANDO AL REY?: NUEVOS MATERIALES PARA LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA**  
[DETHRONING THE KING?: NEW MATERIALS FOR PHOTOVOLTAICS]  
L. VAILLANT-ROCA

**ARTÍCULOS ORIGINALES**

- 4 THE IMPACT OF ACTIVE LEARNING OF PHYSICS ON STUDENT SCIENTIFIC THINKING**  
[EL IMPACTO DEL APRENDIZAJE ACTIVO DE LA FÍSICA EN EL RAZONAMIENTO CIENTÍFICO DEL ESTUDIANTE]  
M. Marušić, L. Gujinović
- 12 COMPARING GRAPHENE ENERGY DISPERSION SIMULATIONS USING SPREADSHEET FOR DISTANCE LEARNING**  
[COMPARACIÓN DE SIMULACIONES DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DEL GRAFENO UTILIZANDO UNA HOJA DE CÁLCULO PARA EL APRENDIZAJE A DISTANCIA]  
S. A. Rani, H. Kuswanto, H. Putranta, A. Y. Purnama, W. S. B. Dwandaru
- 21 LEARNING MEDIA SIMULATION OF SIGNAL PROCESSING USING JAVASCRIPT PROGRAMMING LANGUAGE AS ALTERNATIVE TO DISTANCE LEARNING**  
[CALIBRATION PROPOSAL FOR THE BELL PROVERS MODEL LJQ-20 AND LJQ-100]  
A. Y. Purnama, Ariswan, E. Istiyono, H. Kuswanto, H. Putranta, D. N. Setyawan, R. Saputri
- 27 ANALYSIS OF AMBER SAMPLES BY LIBS AND CHEMOMETRIC METHODS**  
[ANÁLISIS DE MUESTRAS DE ÁMBAR POR LIBS Y MÉTODOS QUIMIOMÉTRICOS]  
T. Flores, F. C. Alvira, A. Ponce, L. Ponce.
- 34 INTRODUCCIÓN AL FILTRO DE KALMAN A TRAVÉS DE LA FÍSICA EXPERIMENTAL**  
[INTRODUCTION TO THE KALMAN FILTER THROUGH EXPERIMENTAL PHYSICS]  
L. A. Rodríguez-de-Torner, G. Sánchez-Colina
- 39 MODELING THE NEURAL ACTIVITY OF CAENORHABDITIS ELEGANS THROUGH NEURAL MESSAGE PASSING**  
[MODELACIÓN DE LA ACTIVIDAD NEURONAL DEL CAENORHABDITIS ELEGANS MEDIANTE ALGORITMOS DE TRANSMISIÓN DE MENSAJES]  
Y. Hernández-Hernández, D. Machado, R. Mulet
- MOMENTOS DE LA FÍSICA EN CUBA**
- 44 50 AÑOS DE LA PRIMERA GRADUACIÓN DE FÍSICOS EN LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
[50 YEARS OF THE FIRST GRADUATION OF THE PHYSICS CAREER AT THE ORIENTE UNIVERSITY]  
L. M. Méndez-Pérez, A. Cruz-García
- 50 FORTY-FIVE YEARS OF QUANTUM FIELD THEORY IN CUBA**  
[CUARENTA Y CINCO AÑOS DE LA TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPO EN CUBA]  
G. Quintero, D. Alvear
- 53 BREVE HISTORIA DE LA FÍSICA EN LA UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS (1986-PRESENTE)**  
[A BRIEF HISTORY OF PHYSICS AT "MARTA ABREU" UNIVERSITY OF LAS VILLAS (1986-PRESENT)]  
J. Hernández-Ruiz, A. Duffus-Scott
- 59 NUESTRA FÍSICA EN NOTICIAS**

## OBITUARIOS

**62 AMELIA MARTÍN RODRÍGUEZ (13 SEPTIEMBRE 1950 - 23 JUNIO 2023)**

V. Fajér-Ávila, C. A. Osaba-Rodríguez, A. Mavilio-Núñez, M. E. Montero-Cabrera, J. J. Llovera-González

**63 MIGUEL RAMOS VÁZQUEZ (20 SEPTIEMBRE 1947 - 10 MARZO 2023)**

F. R. Romeu-Caignet, E. Altshuler

**64 FRANCISCO CRUZ GANDARILLA (8 JULIO 1951 – 18 JUNIO 2023)**

S. Bahamonde, A. Serra, J. Ramón-Quiñones, A. Pentón



# ¿DESTRONANDO AL REY?: NUEVOS MATERIALES PARA LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

## DETHRONING THE KING?: NEW MATERIALS FOR PHOTOVOLTAICS

L. VAILLANT-ROCA<sup>a†</sup>

Laboratorio de Investigaciones Fotovoltaicas (LIFV), IMRE - Facultad de Física, Universidad de La Habana. vaillant@imre.uh.cu<sup>†</sup>

Una noticia recorre el mundo. Investigadores en Arabia Saudita han logrado eficiencias superiores al 33 % en un nuevo tipo dispositivo para celdas fotovoltaicas, que amenaza con destronar al “rey” de este competitivo campo: el silicio.

El silicio ha sido, durante varias décadas, el material dominante en el fondo fotovoltaico. Con un valor de ancho de banda prohibida óptimo alrededor de 1.1 eV, una estructura cristalina cúbica monoatómica, la posibilidad de fabricar una homounión p-n con una mínima cantidad de defectos a partir del proceso de difusión y mucha información acumulada sobre este material durante la expansión de las aplicaciones de las microelectrónica, el Si tiene muchas ventajas. Además, es muy abundante en la corteza terrestre, de modo que puede satisfacer la alta demanda de los procesos industriales. Sin embargo, el ancho de banda prohibida del silicio es indirecto, lo que implica un coeficiente de absorción bajo, lo que obliga a utilizar porciones del material entre 150 y 200 micras [1]. A esta desventaja debe añadirse que la obtención del Si a partir de los productos de la minería requiere altos valores de energía.

Buscando destronar al Si, se han investigado diversos materiales absorbentes como las capas delgadas de a-Si:H, CIGS y CdTe. Estos materiales son capaces de absorber la luz de un modo más eficiente, por lo que bastan pocas micras de espesor. Además, pueden ser obtenidos por una diversidad de técnicas de crecimiento, incluyendo algunas de bajo costo. En los años 1990's, aparecen los llamados dispositivos emergentes, con nuevas arquitecturas para las celdas solares e innovadoras propuestas de materiales absorbentes como los orgánicos, los colorantes, los puntos cuánticos, las kesteritas y las perovskitas. Cada tecnología de celdas solares surgió con el supuesto potencial de terminar el reinado del Si, que mientras tanto continuó, lentamente, mejorando su eficiencia récord de conversión para celdas solares de laboratorio y consolidando, innovación tras innovación, la fabricación de módulos fotovoltaicos comerciales.

Hoy la industria fotovoltaica está compuesta en un 95 % de módulos de silicio, mientras que solo un 5 % está ocupado por los módulos basados en capas delgadas. Por demás, los módulos fotovoltaicos de Si se ofertan con garantías que pueden llegar a los 25 años de duración. El fenomenal escalado industrial que ha visto esta tecnología tiene como consecuencia la producción de poco más de 180 GWp anuales a nivel mundial y ha permitido disminuir el costo ponderado del kWh de electricidad (LCoE), generado con fotovoltaica de 31.5 centavos de Euro en el 2010 a 4.1 centavos de Euro en el

2021 [2].

Mejorar la eficiencia de una celda solar ha sido históricamente una tarea de titanes de la ciencia. Las curvas que muestran los récords de eficiencia de cada tecnología en función del tiempo poseen pendientes muy bajas, representativas del enorme esfuerzo involucrado en optimizar una celda solar. Quien mejor cuenta esta historia es el gráfico de celdas solares de laboratorio con eficiencias récord elaborado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) [3], mostrado en la Fig. 1. Cada celda récord, una detrás de otra, muestra orgullosamente modestos pero importantes avances a lo largo de los años, que se hicieron décadas. Por ejemplo, el propio silicio solo pudo incrementar su eficiencia récord de conversión de 24.2 % en 1990 hasta el 26.7 % que ostenta en la actualidad, lo que significa un 2.5 % de incremento en 33 años. Y así fue hasta que llegaron las perovskitas, que consiguieron lo que ningún otro material en la historia de la fotovoltaica: aumentaron su récord de eficiencia de conversión de 14.1 a 26%; casi 12 % en solo 10 años. Con este comportamiento, las perovskitas parecen destinadas a ganar la vieja carrera por superar al silicio y apoderarse del futuro de la energía solar.

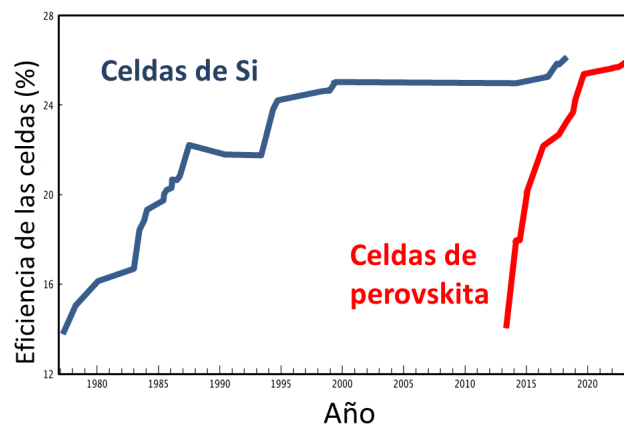


Figura 1. Evolución en el tiempo de la eficiencia récord de la celda solar de silicio y de perovskita (modificado de [3]).

Perovskita es la denominación de una amplia familia de materiales con la fórmula general  $ABX_3$  y una estructura cuyo paradigma es el titanato de calcio ( $CaTiO_3$ ) [4]. Las perovskitas han sido utilizadas para múltiples aplicaciones como ferroeléctricos, piezoeléctricos, ferromagnéticos, antiferromagnéticos, superconductores de

alta temperatura crítica, termoeléctricos y catalizadores. Sin embargo, no fue hasta 2006 cuando la aplicación fotovoltaica fue reportada por primera vez por Miyasaka y colaboradores para dispositivos con perovskitas de haluro de plomo de metilamonio  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I}_3, \text{Br}_3)$  como material absorbente, demostrando menos del 1% de PCE [5]. Estos primeros trabajos y optimizaciones adicionales por parte de Park y colaboradores [6] resultaron en el desencadenante del "fenómeno de las perovskitas", cuando en 2012 se sobrepasó el 10% de eficiencia con dispositivos completamente de estado sólido.

Desde el punto de vista tecnológico, las celdas solares basadas en perovskitas ofrecen ventajas inmejorables. Se obtienen por métodos de deposición extremadamente económicos, lo que unido a sus altos valores de eficiencia lograron atraer a mucho del talento mundial en busca de una tecnología capaz de dar respuesta al gran problema de la energía. Sin embargo, al mismo tiempo han tenido que batallar con grandes dificultades de estabilidad. Esta molesta debilidad las hacía poco confiables, a pesar de su fabulosa pendiente de crecimiento de eficiencia récord (Fig. 1) y de su simplicidad tecnológica.

Pero algo aún más interesante estaba aún por ocurrir. Para las celdas de silicio, se han desarrollado inmensas capacidades industriales de fabricación. Así, la idea de complementar al silicio, en vez de suplantarlo, surge en forma de una celda tándem Si-perovskita, donde ambas se apilan, una sobre la otra, para aprovechar diferentes regiones del espectro solar. Esta complementariedad espectral es la primera condición importante a cumplir para una celda tándem. La celda de Si se encarga de convertir eficientemente los fotones provenientes de la región del infrarrojo, mientras que las perovskitas utilizan la región visible del espectro. De este modo, es obvio que se pueden obtener valores de eficiencia de conversión superiores a los de cada celda por separado.

Además, teniendo en cuenta los bajos costos de obtención de las perovskitas, se puede suponer que la adición de una secuencia de crecimiento a las capacidades para fabricar celdas de Si ya existentes permite obtener dispositivos capaces de generar energía suficiente como para compensar y superar los costos añadidos. Sin embargo, es importante acoplar las corrientes entre ambos dispositivos y lograr que la celda de perovskita se adapte a la superficie texturada de la celda de Si, compuesta por pirámides, que permiten la optimización del atrapamiento de luz y que forman parte del proceso de fabricación de estos dispositivos.

Todos estos retos fueron enfrentados en los últimos 5 años, hasta que en el 2021, el Helmholtz-Zentrum de Berlin (HZB) consigue un impresionante 29.8% de eficiencia, optimizando capas de interfaz entre el electrodo y la perovskita [7]. En el 2022 la eficiencia récord de la celda tándem Si-perovskita supera el deseado umbral del 30%, con valores de 31.3 y 32.5% [3] y en este año 2023, investigadores del King Abdullah University of Science and Technology de Arabia Saudita (KAUST) logran valores del 33.2 y 33.7%, con apenas dos meses de diferencia, en marzo y mayo respectivamente [3, 8]. Estos resultados no se obtienen solo a nivel de laboratorio, sino que se observan "start-ups" surgidas para la explotación comercial de estos dispositivos, como por ejemplo la renombrada Oxford-PV [9]. Además, se avanza en la estabilización de los dispositivos y en las pruebas en condiciones reales [10].

El notable comportamiento de esta tecnología tándem combina la robustez del silicio con el esplendor de la perovskita, complementados en un dispositivo capaz de ofrecer un 10% más de eficiencia que los existentes en el mercado, utilizando las capacidades industriales ya implementadas y añadiendo procesos de bajo costo.

El silicio, rey indiscutible de la fotovoltaica, seguirá reinando, pero ahora acompañado de las perovskitas, la fascinante tecnología de conversión de energía solar de crecimiento tecnológico nunca antes visto.

## REFERENCES

- [1] <https://www.pveducation.org/>.
- [2] ISE Photovoltaic Report (Febrero 2023) <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>.
- [3] <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.
- [4] O. Almora, L. Vaillant and G. García-Belmonte, *Rev. Cubana. Fis.* **34**, 58 (2017) .
- [5] H. J. Snaith, *J. Phys. Chem. Lett.* **4**, 3623 (2013).
- [6] J. H. Im, C. R. Lee, J. W. Lee, S. W. Park, and N. G. Park, *Nanoscale* **3**, 4088 (2011). .
- [7] Al-Ashouri et al., *Science* **370**, 1300 (2020).
- [8] <https://www.pvtime.org/33-7-kaust-team-sets-efficiency-record-for-tandem-solar-cell/>.
- [9] <https://www.oxfordpv.com/perovskite-pv-transform-global-solar-market>.
- [10] Aydin, E., Allen, T. G., De Bastiani, M. et al. *Nat Energy* **5**, 851 (2020).

# THE IMPACT OF ACTIVE LEARNING OF PHYSICS ON STUDENT SCIENTIFIC REASONING

## EL IMPACTO DEL APRENDIZAJE ACTIVO DE LA FÍSICA EN EL RAZONAMIENTO CIENTÍFICO DEL ESTUDIANTE

M. MARUŠIĆ, L. GUJINOVIĆ<sup>†</sup>

Department of Physics, Faculty of Chemistry and Technology, University of Split, Croatia; lukag@kft-split.hr<sup>†</sup>

<sup>†</sup> corresponding author

Recibido 14/4/2022; Aceptado 15/3/2023

In this work, the results of a five-year project are presented. The changes in scientific reasoning level of first-year students, from the Undergraduate Study of Food Technology (N=122) and Professional Study of Materials protection and recycling (N=118), were evaluated within a one-semester course in Physics. The efficiency evaluation of the physics active learning method “Experimenting and discussion”, used to increase the level of scientific reasoning (intervention group – IG), was carried out in a relation to a traditional learning method (control group – CG). “Lawson’s Classroom Test of Scientific Reasoning” (LCTSR) was used as a measurement instrument. 57.8% of IG group students from the Undergraduate Study of Food Technology achieved a positive shift towards higher levels of scientific reasoning. For Materials protection and recycling students, that percentage was 52.6%. A statistically significant difference was found between the Pre-test and Post-test results for both studies.

En este trabajo se presentan los resultados de un proyecto de cinco años. Se estimaron los cambios en el nivel de razonamiento científico de los estudiantes de primer año, de la Licenciatura en Tecnología de Alimentos (N=122) y del Estudio Profesional de Protección y Reciclaje de Materiales (N=118), dentro de un curso de un semestre de Física. La estimación de la eficiencia del método de aprendizaje activo de física “Experimentación y discusión”, utilizado para aumentar el nivel de razonamiento científico (grupo de intervención – IG), se realizó en relación a un método de aprendizaje tradicional (grupo control – GC). Como instrumento de medida se utilizó la “Prueba de Razonamiento Científico en el Aula de Lawson” (LCTSR). En la Tecnología de los Alimentos, el 57,8% de los estudiantes del grupo IG lograron un cambio positivo hacia niveles más altos de razonamiento científico. Para los estudiantes de Protección y reciclaje de materiales, ese porcentaje fue del 52,6%. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de la prueba previa y la prueba posterior para ambos estudios.

PACS: Education (educación), 01.40.-d; Teaching methods and strategies (Métodos y estrategias de enseñanza), 01.40.gb; Demonstration experiments and apparatus (Demostraciones experimentales y aparatos), 01.50.My; General physics (Física general), 01.55.+b.

### I. INTRODUCTION

Since everything proven is based on scientific reasoning, it is necessary to consider the views on that type of reasoning in detail. It has been primarily described as a capability of solving scientific problems and a process of collecting data, with a goal of acquiring theoretical or hypothetical knowledge, possibly used in knowledge generalization [1, 2]. As an extended description of scientific reasoning, mental processes occurring while thinking about scientific field topics and during participating in typical scientific activities are also mentioned [3].

The development of scientific reasoning is a complex process, including various cognitive skills used for detecting and evaluating findings, drawing conclusions, and argumentation. All these skills have a role in increasing scientific understanding or creating and changing concepts and theories about the natural and social world [4]. Understanding the essential scientific terms is related to an achieved level of scientific reasoning [5]. Due to that, an improvement of scientific reasoning and understanding of the foundational scientific concepts should be a primary goal of scientific education.

In classrooms, the way that scientists develop their reasoning skills, draw a conclusion, or offer an alternative explanation, is often missing. The most common reasons for that are organizational problems, poor equipment, inadequate education of teachers and a dominant and traditional method of teaching science [6].

Researchers indicated that there is a large number of high school and faculty students, without the reached level of formal reasoning. Extensive research, carried out on a representative sample of 10000 students, aged 10 to 16, showed that the highest percentage of all examinees with a developed formal level of scientific reasoning was 20%. The data also showed that the majority of students completed their development at the age of 14.5 years [7]. Arons and Karplus claimed that only one-third of the American population, aged 13 to 15, reach the formal-operative level of reasoning [8]. Maloney presented the data for two student groups: two-thirds of students, taking computer and algebraic courses in physics at Creighton University, achieved the level of formal reasoning, while only one-third of students in educational and scientific fields achieved that level [9].

A large study, carried out on 5760 students of technology and science from four U.S. and three Chinese universities, showed

that quite different educational systems in U.S and China did not result in a large difference in the development of student scientific reasoning skills [10]. The results of tests showed that, regardless of university and study program, student development over the years was not noticed, and cognitive abilities developed in the first year were not developing during the remaining years of studying. However, teachings focused on research offered an improvement in students' scientific and logical reasoning [11]. Due to these facts, the development of scientific reasoning skills became a specific and explicit objective in many study programmes [12].

Furthermore, exposure to multiple situations, that demand applied scientific reasoning skills, even without teaching directly, results in scientific reasoning level progress [13, 14]. Active learning includes these educational experiences and enhances higher-order thought processes, such as analysis, synthesis and evaluation [15].

In this research, the active learning method in physics was examined, characterized by simple experiment performances and discussion participation. More precisely, the influence of this active learning method on the shift in scientific reasoning level among the students from the Undergraduate Study of Food Technology (FT) and Professional Study of Materials Protection and Recycling (MPR). Hence, our hypothesis is that the active learning method through experimenting and discussion significantly improves the level of scientific reasoning among the students, while our variable is the level of scientific reasoning.

## II. STUDY DESIGN

### *Participants*

This five-year research was carried out at the Undergraduate study of Food Technology and the Professional study of Materials protection and recycling, from the Faculty of Chemistry and Technology, University of Split, through five generations. The research included 122 first-year students of Food Technology (FT) and 118 first-year students of Materials protection and recycling (MPR) in total and was conducted during a one-semester Physics course per generation. At the start of the course the students were given the Pre-test, and at the end the Post-test, which measured their level of scientific reasoning before and after the course (see measuring instrument section). Between the Pre-test and Post-test, only 1 FT student quit his studies, while that number was significant at MPR (21). Those students were not included in the analysis (Table 1).

### *Physics course curriculum*

The regular version of the Physics course included traditional learning methods, which consisted of typical lectures (30 hours), solving exercises (15 hours) and laboratory exercises (30 hours). Their laboratory exercises were organized through the introductory lecture of the teacher, a short test on the given exercise topic and measurements with the analysis of the results. Curriculum and course content are present at <https://nastava.ktf-split.hr/predmet.php?lang=en&kod>

=KTK102 and in Supplementary Table 1. Students from the academic years of 2017/2018 and 2018/2019 were taught traditionally and formed control groups (CG) (see Table 1). On the other hand, in the academic years of 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017, students were taught with the active learning method in the following manner. While the lectures and solving exercises were unchanged, the duration of laboratory exercises was decreased by 30 minutes. As a result, that time was compensated by the active learning methods of experimenting and discussion. These students formed the intervention groups (IG) (see Table 1).

FT and MPR students were taking a Physics course together, but their improvement was followed separately since they belonged to different studies.

The schedule of applying the active learning methods instead of traditional ones was decided by the Ethical committee. That is also the reason why IG and CG groups were never found within the same generation since the approach would not be equal for the students from the same generation.

Since IG and CG groups were always in separate academic years, there was no physical connection among them, but they were connected with the same curriculum, enrollment conditions and most importantly, their similar knowledge that was not significantly different at the Pre-test results within the same study (shown in the Results section).

### **Teaching intervention**

Teaching intervention performed only in IG groups is characterized by the active learning method of physics through experimenting and discussion and with "collective learning" and "cognitive conflict" included in their laboratory exercises. The students are active participants in a process of acquisition and renewal of their knowledge. The main used initiator of cognitive development is the predict-observe-explain [16] or observe-explain-predict-test [17] learning sequence (Supplementary Table 2).

With these sequences, students activate their acquired knowledge and put it in a testing process through a comparison of predicted and observed. This testing process involves analysis and observation of simple experiments, with the physical phenomena, about which the students already had their well-known "alternative conceptions" [18]. These phenomena are covered in physical topics such as Force and the concept of motion, Pressure (hydrostatic, hydraulic, atmospheric, hydrodynamic), Heat, and Sound waves. Chosen examples among 20 experiments, divided into 10 sessions, are shown in Table 2. The full list of experiments is present in Supplementary Table 3.

All the experiments had a surprising effect on the students. Visualizations of these experiments are shown: Crumpled can (Fig. 1), Strange balance (Fig. 2), Chimney (Fig. 3). The IG group students were divided into smaller subgroups of 9 to 12 students, resulting in 6 IG subgroups for FT and 8 groups for MPR. The cycle of active learning of physics, using simple experiments, for one of the IG groups is shown in Fig. 4. After the group laboratory exercises were carried out, a simple experiment(s) was described to the students of a group, but



without its execution. The students were asked to predict the possible outcome of the experiment and offer an explanation of the expected result, sharing their ideas with the group. Then, they were involved in a discussion and tried to explain why they expected those outcomes [19].

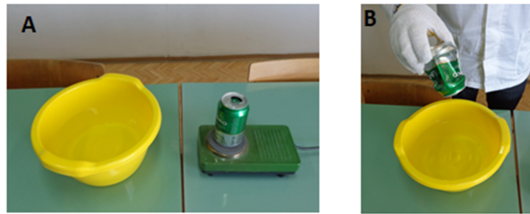


Figure 1. An example of a simple experiment – “Crumpled can”. (A) heating up the can on a stove. (B) display of the can after contact with cold water.

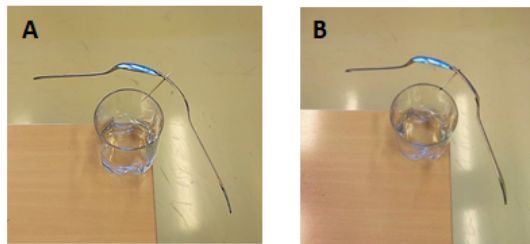


Figure 2. An example of a simple experiment – “Strange balance” (A) setting up a balanced system; (B) display of the system after combustion of both ends of the toothpick.

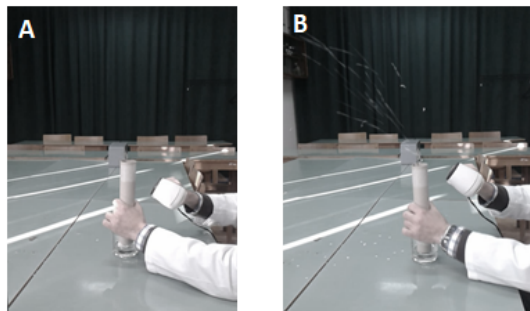


Figure 3. An example of a simple experiment – “Chimney”. (A) before starting the hairdryer. (B) during the blowing of the hairdryer.

Through discussion, misconceptions in physics, as well as the level of scientific reasoning were recognized. After discussion, the teacher performed the experiment, while the students observed and made notes about the outcome. The students often asked the teacher to repeat the experiment because of their positive emotions. They could directly engage during the experiment by reacting to what was observed and offering their own explanations, this way improving their predictions. During the final discussion, with the teacher involved, the group achieved the right physical interpretation of an observed phenomenon [19].

### Measuring Instrument

The instrument for measuring gains of different groups was the “Lawson’s Classroom Test of Scientific Reasoning” (LCTSR) [20]. We applied it at the beginning and

at the end of the project. The test consists of 24 questions. The questions refer to several areas: inferences about conservation, concluding about proportions, identification and control of variables, understanding the probability and hypothetical-deductive reasoning. All of the above-mentioned areas determine the level of students’ scientific reasoning. The questions in the LCTSR are grouped in such a way that the student scores one whole point only when the answers to both questions, i.e. the outcome and the explanation for the outcome, are consistent with formal-operational reasoning [21]. This way, the total score on the test is 12. Considering the total score, the following classification is given by Lawson [22]: concrete thinkers (0-4 points), transitional thinkers (5-8 points), and formal thinkers (9-12 points).

Data analysis was performed using IBM SPSS Statistics 22.0 (Armonk, New York). Mann-Whitney U-test was used to assess the possible statistical difference in LCTSR Pre-test results for the IG and CG student groups. Wilcoxon Signed-Rank Test was used to determine statistical differences in the Pre- to Post-LCTSR results so we could evaluate how two different teaching methods of physics for the IG and CG group affect the change in the level of scientific reasoning. Both statistical tests are non-parametric tests and the p-value was established at 0.05 a priori.

Furthermore, the effect size was calculated as Cohen’s *d* value [23] using the following formula:

$$d = \frac{(< Post >) - < Pre >}{SD} \quad (1)$$

where SD is the pooled standard deviation of the Pre- and Post-test scores, while <Post> and <Pre> are the average Pre- and Post-test scores of the group (IG or CG). The suggested values for effect sizes are 0.2 for small, 0.5 for medium and 0.8 for large effect sizes.

Because of its proven value in research and the study of teaching, LCTSR has been widely accepted in many empirical studies at various academic levels. LCTSR is often used to assess the reasoning abilities of university students in relation to their academic achievements [10, 11, 24, 25]. Many studies have also used LCTSR as a standard to assess the success of undergraduate studies in terms of educational outcomes beyond the knowledge of the content [19, 26–28].

### III. RESULTS

Pre-test LCTSR results were analyzed and the number of students at different scientific reasoning levels was observed by academic years. Table 3 indicates that the lowest percentage of FT students from the IG and CG groups achieved the formal reasoning level before the Physics course (9.9%, 9.8%). Among the MPR students, there were no students from both the IG and CG groups who reached the formal reasoning level before the course. IG and CG groups of both studies did not show a statistically significant difference in LCTSR Pre-test results ( $p > 0.05$ ). The percentages of students

achieving different reasoning levels on Lawson's Pre- and Post-test, are shown in Table 4. The IG groups of FT students achieved a significant shift in reasoning level, unlike the students from CG groups. LCTSR results from IG groups indicated a decrease in concrete reasoning level percentage from 64.8 % to 25.4 %, with increased percentages of students at the transitional (from 25.3 % to 47.9 %) and formal reasoning level (from 9.9 % to 26.7 %). On the other hand, these improvements in reasoning level were not noticed in CG groups. With only a slight decrease of 1.9 % among the concrete and an increase of 1.9 % among the formal thinkers, these changes were insignificant (see Table 4). The IG groups of MPR also achieved significant improvements in formal reasoning when compared to the CG groups. What should be emphasized is that there were no students with the highest, formal reasoning level on the Pre-test. The Pre-test result for IG groups, counting 83.3 % of concrete thinkers and 16.7 % of transitional thinkers, differed considerably from the Post-test results. Again, a statistically significant shift in scientific reasoning level was noticed, with 42.3 % of concrete, 41.0 % transitional, and 16.7 % of formal thinkers, respectively. CG groups did not achieve a statistically significant shift as well, being almost inconsiderable (see Table 4). The exact number of students at different scientific reasoning levels between the Pre- and Post-test results of IG and CG groups from both study programmes are shown in Table 5, giving an insight into migrations among reasoning levels.

In addition, the exact average Pre- and Post-test results with the standard deviations for IG and CG groups are given in Table 6, as well as the effect size (*d*), which is interpreted as large. FT students significantly improved their average test result, which increased from 3.88 to 6.54 on the Post-test, with a large effect size of 0.99. For MPR students, this improvement was even greater with an effect size of 1.33 and a significant average result increase from 2.94 to 5.78. These values corroborate our hypothesis.

#### IV. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The initiative for this research was the connection between the learning/teaching methods and cognitive changes occurring among students. Two different physics teaching methods were examined: the traditional teaching method used in control groups (CG), and Experimenting and discussion (discussing classical physics topics), used in intervention groups (IG). This research basis was the analysis of learning methods impact on reasoning level and cognitive changes among students from Undergraduate university study of Food Technology (FT) and Professional study of Materials protection and recycling (MPR).

The Pre-test results showed that less than 10 % of FT students had the formal level of reasoning achieved, while there were no students with this reasoning level at the MPR. This fact presents a major issue for students with a desire for learning physics thoroughly since formal reasoning level is considered essential for an adequate understanding of physics. Such an approach to learning demands understanding of fundamental physical concepts, as well as applying and recognizing them

in everyday situations.

The CG results for both studies confirmed a well-known fact, showing that traditional teaching methods do not result in significant changes in the average scientific reasoning level of students.

The IG results showed that the active learning method of physics through Experimenting and discussion (IG groups), applied within one semester, provided significant improvement in scientific reasoning level. Among FT students, 57.8 % achieved a transition towards higher reasoning levels, while that percentage was 52.6 % for MPR students. For both studies, the average test score was significantly improved on the Post-test, with a large effect size, calculated as Cohen's *d* value.

Although the control and intervention groups belong to different academic years, such an improvement and the difference between them is the effect of teaching intervention. Taking a look at the percentages of students at different reasoning levels on the Pre-test (Table 3) shows that there were no statistically significant differences between the IG and CG groups of the same study. Therefore, the students from different groups and generations could be considered as equal examinee samples at the beginning of the research, while the statistically significant shifts in scientific reasoning of IG groups were shown at the end. Moreover, the same teacher was in charge of teaching through all these generations, without any changes being made among generations of CG and IG groups (except for the intervention).

From previous studies, it was shown that a maximum of 20 % of high school-age students reach the formal reasoning level [7], which coincides with the Pre-test results of high school students from Croatia [27], where considerable benefits of active learning of physics were shown on the Post-test. A similar trend was observed with Pharmacy students [19]. Apart from these results, this research offers an insight into the development of scientific reasoning among the students with noticeably worse Pre-test results. Nevertheless, with the use of active learning methods of physics their results improved significantly, while the traditionally taught students showed indistinguishable progress on Lawson's Post-test. This fact encourages the use of such methods in teaching since it could provoke progress in reasoning capabilities.

Using the previously mentioned sequences: predict-observe-explain, or observe-explain-predict-test, stated progress is achievable through simple experiments with a surprising effect, encouraging students to think creatively and search for a physical solution to observed phenomena. During that process, students mutually communicate and embrace the basic values of teamwork, that way developing social and teamwork skills necessary for future professional work.

Although significant improvements in scientific reasoning levels were achieved in IG groups, this research has certain limitations. Firstly, it is necessary to verify if other teachers would accomplish similar improvements by using these active learning methods. Secondly, the duration of the Physics course may be not long enough to create the habit of using these

learning methods among students. And finally, it is necessary to insist that other teachers enrich their scientific courses with this method. Taking into account and resolving all these limitations, in the future we could completely estimate the full potential of this active learning method.

## REFERENCES

- [1] D. Klahr and K. Dunbar, *Cognitive Sci.* **12**, 1 (1988).
- [2] D. Klahr, *Exploring Science: The Cognition and Development of Discovery Processes* (MA: MIT Press, Cambridge, UK, 2000).
- [3] K. Dunbar and J. Fugelsang, *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2005).
- [4] C. Zimmerman, *The Development of Scientific Reasoning Skills: What Psychologists Contribute to an Understanding of Elementary Science Learning* (National Research Council, Washington DC, 2005).
- [5] A. L. Glaze, *Educ. Sci.* **8**, 12 (2018).
- [6] F. Abd-El-Khalick, S. Boujaoude, R. Duschl, N.G. Lederman, R. Mamlok-Naaman, A. Hofstein, M. Niaz, D. Treagust and H. Lin Tuan, *Sci. Educ.* **88**, 3 (2004).
- [7] M. Shayer and H. Wylam, *Brit. J. Educ. Psychol.* **48**, 1 (1978).
- [8] A. B. Arons, and R. Karplus, *Am. J. Phys.* **44**, 4 (1976).
- [9] D. P. Maloney, *Am. J. Phys.* **49**, 8 (1981).
- [10] L. Bao, T. Cai, K. M. Koenig, K. Fang, J. Han, J. Wang, Q. Liu, L. Ding, L. Cui, Y. Luo, Y. Wang, L. Li and N. Wu, *Science* **323**, 5914 (2009).
- [11] V. P. Coletta and J.A. Phillips, *Am. J. Phys.* **73**, 12 (2005).
- [12] V. P. Coletta, and J.A. Phillips, *Physics Education Research Conference* **1179**, (2009).
- [13] D. Kuhn, *Mechanisms of Cognitive Development: Behavioral and Neural Perspectives* (Lawrence Erlbaum Associates Inc., Mahwah, NJ, 2001).
- [14] B. Bettina, M. Pesa and M. Braunmuller, *Rev. Bras. Ensino Fis.* **44**, e20210326 (2022).
- [15] I. Araujo, T. Espinosa, K. Miller and E. Mazur, *Rev. Bras. Ensino Fis.* **43**, e20210222 (2021).
- [16] R. White and R. Gunstone, *Probing Understanding* (The Falmer Press, London, UK, 1992).
- [17] A. Van Heuvelen and E. Etkina, *The Physics Active Learning Guide* (Addison Wewley, San Francisco, CA, 2006).
- [18] H. Pfundt and R. Duit, *Bibliography. Students alternative frameworks and science education* (Institute for Science Education, Kiel, DE, 2006).
- [19] M. Marušič and A. Dragojevič, *Am. J. Pharm. Educ.* **84**, 8 (2020).
- [20] A.E. Lawson, *Classroom test of scientific reasoning (revised pencil paper version; Arizona State University, Tempe, AZ, 1996).* <http://www.public.asu.edu/~anton1/AssessArticles/Assessments/Mathematics%20Assessments/Scientific%20Reasoning%20Test.pdf>
- [21] L. Bao, Y. Xiao, K. Koenig and J. Han, *Phys. Rev. Phys. Educ.* **14**, 2 (2018).
- [22] A.E. Lawson, *Science Teaching and the Development of Thinking* (Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA, 1995).
- [23] J. Cohen, *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 2nd ed., 1988).
- [24] S.N. Zhou, Q.Y. Liu, K. Koenig, Q.Y. Li, Y. Xiao and L. Bao, *J. Balt. Sci. Educ.* **20**, 1 (2021).
- [25] L. Richterek and T. Hrouzková, *Lawson classroom test of scientific reasoning at entrance university level* (Presentation at BalticSTE '21 symposium: <https://balticste.com>) (2021).
- [26] T. Abate, K. Michael and C. Angell, *Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ.* **16**, 12 (2020).
- [27] M. Marušič and J. Sliško, *Int. J. Sci. Educ.* **34**, 2 (2012).
- [28] Z.A. Zulkipli, M. M. M. Yusof, N. Ibrahim and S.F. Dalim, *Asian J. Univ. Educ.* **16**, 3 (2020).

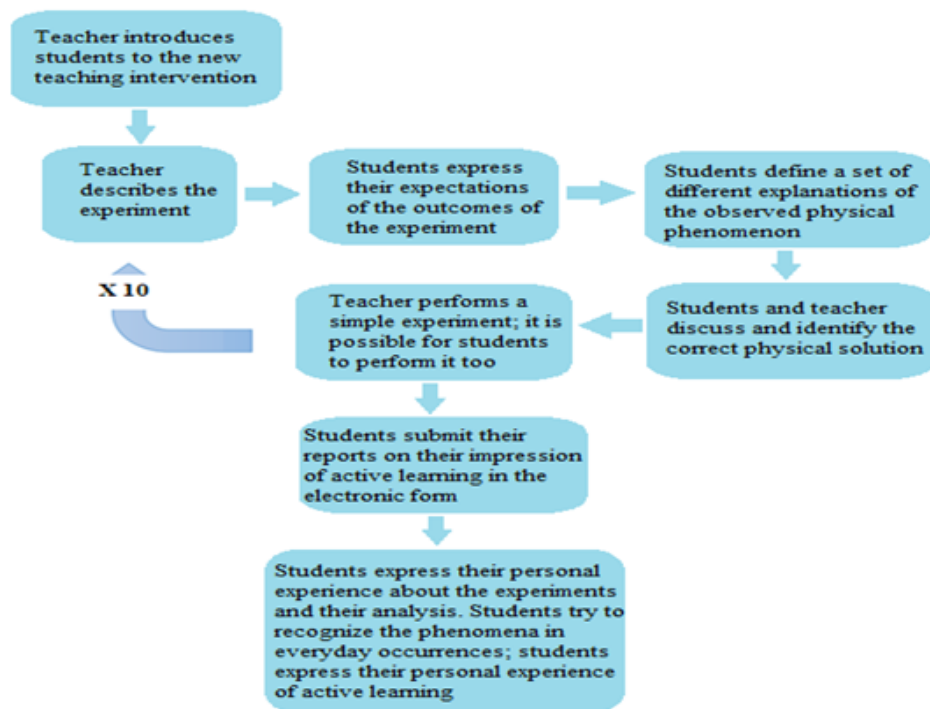


Figure 4. The cycle of active learning of physics, using simple experiments for one IG group.

Table 1. The number of students at the Pre-test and Post-test, and the average age by academic year-comparison of active learning (intervention) and traditional (control) learning groups.

Undergraduate university study of Food Technology								
		Intervention group				Control group		
		2014/2015	2015/2016	2016/2017	Sum	2017/2018	2018/2019	$\Sigma$
Number of students	Pre	24	24	24	72	24	27	51
	Post	23	24	24	71	24	27	51
Average age on the LCSTR Pre-test		19.1	18.9	19.3	19.1 <sup>1</sup>	19.4	19.1	19.3
Professional study of Materials protection and recycling								
		Intervention group				Control group		
		2014/2015	2015/2016	2016/2017	Sum	2017/2018	2018/2019	$\Sigma$
Number of students	Pre	48	23	23	94	23	22	45
	Post	40	20	18	78	20	20	40
Average age on the LCSTR Pre-test		19.6	19.1	19.4	19.4 <sup>1</sup>	19.2	19.3	19.3

<sup>1</sup>Statistically no different from the CG group,  $p < 0.05$

Table 2. List of three simple experiments with a short description.

Experiment	Description of the experiment
Strange balance	A fork is fixed on a spoon. A toothpick is threaded through the joint of the spoon and the fork. The balance should be established, and the system is placed on the edge of a glass with the other end of the toothpick, so that everything is at rest. Finally, both ends of the toothpick are lit with a lighter.
Crumpled can	A little water is poured into a beverage can and the can is placed on a heat source. After the water boils, the can is immersed in a bowl of cold water with its upper part.
Chimmey	A cardboard tube is placed above the bottom of a cup containing finely cut paper. The top of the cardboard tube is horizontally blown with a hair dryer. The goal is to make the pieces of paper move towards the top of the tube and come out of it.

Table 3. Lawson Classroom Test of Scientific Reasoning (LCTSR) - Pre-Test Results by Academic Year.

Undergraduate university study of Food Technology (Pre-test)									
	Intervention Group (N = 71)					Control group (N = 51)			
Pre-test level	2014/2015	2015/2016	2016/2017	Sum	%	2017/2018	2018/2019	Sum	%
Concrete	15	17	14	46	64.8 <sup>1</sup>	14	18	32	62.7
Transational	5	6	7	18	25.3 <sup>1</sup>	9	5	14	27.5
Formal	3	1	3	7	9.9 <sup>1</sup>	1	4	5	9.8
Professional study of Materials protection and recycling (Pre-test)									
	Intervention Group (N = 78)					Control group (N = 40)			
Pre-test level	2014/2015	2015/2016	2016/2017	Sum	%	2017/2018	2018/2019	Sum	%
Concrete	34	16	15	65	83.3 <sup>1</sup>	16	17	33	82.5
Transational	6	4	3	13	16.7 <sup>1</sup>	4	3	7	17.5
Formal	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 4. Percentages of students in concrete, transitional, and formal reasoning categories, calculated from the Pre-test and Post-test scores on the Lawson classroom test of scientific reasoning (LCTSR).

Undergraduate study of Food Technology				
		Concrete (%)	Transational (%)	Formal (%)
Intervention group N = 71	Pre	64.8	25.3	9.9
	Post	25.4	47.9	26.7
	Shift	-39.4 <sup>2</sup>	22.6 <sup>2</sup>	16.8 <sup>2</sup>
Control group N = 51	Pre	62.7	27.5	9.8
	Post	60.8	27.5	11.7
	Shift	-1.9 <sup>3</sup>	0.0	1.9 <sup>3</sup>
Professional study of Materials protection and recycling				
		Concrete (%)	Transational (%)	Formal (%)
Intervention group N = 78	Pre	83.3	16.7	0.0
	Post	42.3	41.0	16.7
	Shift	-41.0 <sup>2</sup>	24.3 <sup>2</sup>	16.7 <sup>2</sup>
Control group N = 40	Pre	82.5	17.5	0.0
	Post	80.0	20.0	0.0
	Shift	-2.5 <sup>3</sup>	2.5 <sup>3</sup>	0.0

<sup>2</sup>Statistically significant shifts, <0.05

<sup>3</sup>Statistically significant shifts, >0.05

Table 5. Undergraduate university study of Food Technology

Undergraduate university study of Food Technology							
Intervention group (N=71)				Control Group (N=51)			
Pre		Post		Pre		Post	
Concrete	46	Concrete	18	Concrete	32	Concrete	31
		Transational	25 <sup>4</sup>			Transational	1 <sup>5</sup>
		Formal	3 <sup>4</sup>			Formal	0
Transational	18	Concrete	0	Transational	14	Concrete	0
		Transational	9			Transational	13
		Formal	9 <sup>4</sup>			Formal	1 <sup>5</sup>
Formal	7	Concrete	0	Formal	5	Concrete	0
		Transational	0			Transational	0
		Formal	7			Formal	5
Professional study of Materials protection and recycling							
Intervention group (N=78)				Control Group (N=40)			
Pre		Post		Pre		Post	
Concrete	65	Concrete	33	Concrete	33	Concrete	32
		Transational	28 <sup>4</sup>			Transational	1 <sup>5</sup>
		Formal	4 <sup>4</sup>			Formal	0
Transational		Concrete	0	Transational	7	Concrete	0
		Transational	4			Transational	7
		Formal	9 <sup>4</sup>			Formal	0

Table 6. Pre- and Post-test average on the Lawson test with the effect size.

Undergraduate university study of Food Technology				
Group	N	<Pre> ± SD	<Post> ± SD	Effect Size
Intervention group IG	71	3.88 ± 2.47	6.54 <sup>6</sup> ± 2.89	0.99 <sup>7</sup>
Control group CG	51	4.11 ± 2.61	4.39 ± 2.61	0.11
Professional study of Materials protection and recycling				
Group	N	<Pre> ± SD	<Post> ± SD	Effect Size
Intervention group IG	78	2.94 ± 1.52	5.78 <sup>6</sup> ± 2.60	1.33 <sup>7</sup>
Control group CG	40	3.20 ± 1.25	3.60 ± 1.24	0.03

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.



<sup>4</sup>Statistically significantly migrations,  $p < 0.05$

<sup>5</sup>Statistically significantly migrations,  $p > 0.05$

<sup>6</sup>Statistically significantly different from the <Pre> value

<sup>7</sup>Large effect size

# COMPARING GRAPHENE ENERGY DISPERSION SIMULATIONS USING SPREADSHEET FOR DISTANCE LEARNING

## COMPARACIÓN DE SIMULACIONES DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DEL GRAFENO UTILIZANDO UNA HOJA DE CÁLCULO PARA EL APRENDIZAJE A DISTANCIA

S. A. RANI<sup>a,b†</sup>, H. KUSWANTO<sup>c</sup>, H. PUTRANTA<sup>d</sup>, A. Y. PURNAMA<sup>a,e</sup>, W. S. B. DWANDARU<sup>c</sup>

a) Educational Sciences Department, Physics Education Concentration, Graduate School, Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No. 1, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia; syellaayunisa.2020@student.uny.ac.id<sup>†</sup>

b) SMA Negeri 1 Magelang, Jl. Cempaka No. 1, Magelang, Central Java 56122, Indonesia.

c) Physics Education Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No. 1, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia.

d) Physics Education Department, Faculty of Tarbiyah and Teacher Training, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta 55281, Indonesia.

e) Physics Education Department, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Yogyakarta 55165, Indonesia.

<sup>†</sup> corresponding author

Recibido 17/11/2021; Aceptado 20/12/2022

This study aims at simulating the energy dispersion of graphene using Spreadsheet as a distance (online) learning as a solution for physics learning, especially for undergraduate students. Here we compare the simulation results of graphene's dispersion energy from various literatures and then discussed them from the educational point of view. The Spreadsheet is used to visualize the energy dispersions of graphene having hexagonal honeycomb lattice structure. The results obtained are graphene's energy dispersion simulations from various literature sources, especially from 2010 to 2019. Moreover, although the mathematical formulas are different, the graphene's energy dispersion profiles are mostly similar in wireframe and 3D surface patterns. These simulation results can be used in teaching undergraduate students in making simple simulations using Spreadsheet.

Este estudio tiene como objetivo simular la dispersión de energía del grafeno utilizando hoja de cálculo como una solución de aprendizaje a distancia (en línea) para aprender física, especialmente para estudiantes de pregrado. Aquí comparamos los resultados de la simulación de la energía de dispersión del grafeno de diversas publicaciones y luego lo discutimos desde la perspectiva educativa. La hoja de cálculo se utiliza para visualizar la dispersión de energía del grafeno con una estructura de celosía de panal hexagonal. Los resultados obtenidos son simulaciones de dispersión de energía del grafeno de diversas fuentes de la literatura, especialmente de 2010 a 2019. Además, aunque las fórmulas matemáticas son diferentes, los perfiles de dispersión de energía del grafeno son en su mayoría similares a patrones de estructura wireframe y superficies 3D. Estos resultados de la simulación se pueden utilizar para enseñar a los estudiantes universitarios a realizar simulaciones sencillas con la hoja de cálculo.

PACS: Graphene (grafeno), 81.05.ue; surface states, band structure, electron density of states (estados de superficie, estructura de bandas, densidad de electrones de estados), 73.20.At; computer modeling and simulation (modelado y simulación por computadora), 07.05.Tp; education (educación), 01.40.d.

### I. INTRODUCTION

In the recent past, we have faced a pandemic situation. However, the learning process in universities must continue. Many universities have shifted from face to face lectures to online or distance learning clases to minimize the spread of COVID-19 [1]. However, an obstacle in the field is that only few students tend to enjoy the distance learning process [2].

In education, especially university or college level, the introduction of various materials in the field of physics is still lacking. For example, students may not know that pencils are made of graphite. Interestingly, graphite consists of many layers of graphene. Graphene is a two dimension (2D) material consisting of carbon atoms with hexagonal honeycomb lattice [3, 4]. Graphene has physical properties that are of interest to physics and other applications. Graphene can create 2D structures from different chemical compositions such as nitrogen boride [5]. Graphene can be wrapped into 0 dimension (0D) fullerenes, rolled in a certain direction into one

dimension (1D) carbon nanotubes (CNT), and stacked layer by layer into three dimensions (3D) graphite in pencils. The flexibility of the graphene structure gives its many interesting properties [6]. All this makes graphene an interesting topic for university level.

An interesting physical property of graphene, which is important to be studied is its electronic band structure. The electronic band structure of graphene consists of Dirac points, where the valence and conduction bands converge. The cone shape of the energy band structure shows linear electronic dispersion and density of state (DOS) [7]. There are several methods that can be applied to determine the electronic band structure of graphene. One of them is using the tight binding method [8]. This method determines the energy dispersion as a function of the k-wave [9]. Some of the energy dispersion formulas for graphene using the tight binding method are presented in equations (1) to (14). These formulas are explicitly contained in articles, which are obtained from 2010 to 2019. These formulas can be seen in Table 3.

Most of these formulas have been simulated using Matlab software. However, in this study, we use Spreadsheet. This is because Spreadsheet can be used to analyze and visualize data. Spreadsheet is a user-friendly software. Many scientists have used Spreadsheet to simulate topics of physics and other disciplines [9–16]. Spreadsheet does not require complex programming and students know how to operate the software [12, 13].

This study aims to simulate the energy dispersion of graphene using Spreadsheet as a distance learning solution for learning physics, especially for undergraduate students. In addition, we also compare the simulation results of graphene's dispersion energy from various literatures and discussed them from the educational perspective.

## II. RESEARCH METHOD

Table 1. Spreadsheet formula for Moreau's (2016) graphene energy dispersion of the E(+) part.

Cell	Parameter	Formula
A2	Lattice constant	=2.46
B2	Hopping	=2.8
C2	parameters	= 0.2*\$B\$2
C5-BB5	x-axis	Range (-2.55414 ; 2.54586), interval 0.1
B6-B57	y-axis	Range (-2.55414 ; 2.54586), interval 0.1
C6-BB57	Energy dispersion	= \$B\$2*SQRT(3+2*COS(SQRT(3)*C\$5*\$A\$2)+4*COS(SQRT(3)/2*C\$5*\$A\$2)) COS(3/2*\$B6*\$A\$2))- \$C\$2*(3+2*COS(SQRT(3)*C\$5*\$A\$2)+4*COS(SQRT(3)/2*C\$5*\$A\$2))*COS(3/2*\$B6*\$A\$2))

Table 2. Spreadsheet formula for Moreau's (2016) graphene energy dispersion of the E(-) part.

Cell	Parameter	Formula
A2	Lattice constant	=2.46
B2	Hopping	=2.8
C2	parameters	= 0.2*\$B\$2
C5-BB5	x-axis	Range (-2.55414 ; 2.54586), interval 0.1
B6-B57	y-axis	Range (-2.55414 ; 2.54586), interval 0.1
C6-BB57	Energy dispersion	=-\$B\$2*SQRT(3+2*COS(SQRT(3)*C\$5*\$A\$2)+4*COS(SQRT(3)/2*C\$5*\$A\$2)) COS(3/2*\$B6*\$A\$2))- \$C\$2*(3+2*COS(SQRT(3)*C\$5*\$A\$2)+4*COS(SQRT(3)/2*C\$5*\$A\$2))*COS(3/2*\$B6*\$A\$2))

The Spreadsheet is used to visualize the energy dispersion of graphene with hexagonal honeycomb lattice structure. The first step is to determine the parameters of the formulas in Table 3. The lattice constant used is 2.46 Å. The wave number,  $k$ , for the  $x$  and  $y$ -axes, i.e.:  $k_x$  and  $k_y$ , respectively, are in the range of  $-2\pi a$  to  $2\pi a$  with an interval of 0.1. Meanwhile, the  $k_z$  value is 0 because graphene is a 2D structure. Complete parameters for simulating the positive and negative energies,

i.e.: E(+) and E(-) parts of graphene's energy dispersion can be seen in Tables II and III, respectively. The energy dispersion represented in Tables II and III is the equation given by Moreau (2016). The energy dispersion is obtained from the relationship between the  $x$  and  $y$ -axes by paying attention to the equations in Table 3.

Fig. 1 shows Moreau's (2016) Spreadsheet analysis for graphene's energy dispersions for the E(+) and E(-) parts. The mathematical equations (1) to (14) are entered in the Spreadsheet so that the distribution of values from  $-2\pi a$  to  $2\pi a$  is obtained.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

The parameter that is kept constant in the study is  $a = 2.46 \text{ \AA}$ , with the range for  $k_x$  and  $k_y$  are  $-2\pi a$  to  $2\pi a$ , and interval for  $k_x$  and  $k_y$  is 0.1. The energy dispersion profiles contain two parts, namely positive (up) and negative (down) parts. This happens because of the plus-minus sign in all equations in Table 3. The Spreadsheet cannot display 3D positive and negative curves at the same time. To overcome this, a contour wireframe is used. This feature is used to visualize the equation and find out the difference between each energy dispersion pattern. The contour wireframe can bring out a 2D appearance from the original 3D shape. In this case, one energy dispersion equation has to be split into the positive [E(+)] and negative [E(-)] parts to get the patterns.

Various explicit and closed formulas for graphene's dispersion energies may be observed in Table 3, i.e.: equations (1) to (14). It may be observed that these equations look different with various parameters. Some of these equations have been produced using Matlab. It may also be noted that there are some errors in the formula, especially in equations (1) and (13). This error can be seen from the curve formed and the absence of an  $x$ -axis in each equation. We know that graphene is 2D, so that the axis used is not only the  $y$ -axis but also the  $x$ -axis. We also have given the correct version of the equations below each incorrect formula.

It can also be explicitly observed that there are differences in the use of the parameter  $a$ , namely 1.42 Å for equations (1), (6), (9), (10), and (11), and 2.46 Å for the equations (2), (3), (5), and (8). In this case, two examples of simulation results that illustrate the difference in parameter "a" are given in Fig. 2 using the same equation, namely equation (11). It can be observed in Fig. 2 that the range of values obtained for the energy dispersion is still the same. The difference is the number of cone shapes of the Dirac points.

Moreover, we provide the simulation results of graphene's dispersion energies for a total of 14 equations given in Table 3. The simulations are obtained using Spreadsheet via wireframe contour for E(+) and E(-). The simulations results are given in



Fig. 7.

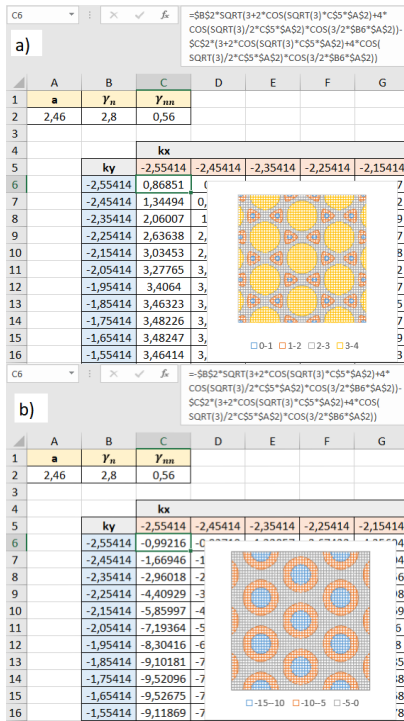


Figure 1. Spreadsheet analysis for Moreau's (2016) graphene energy dispersion for a) E(+) and b) E(-).

These results indicate that the energy dispersion equations proposed by several authors have similar patterns, such as the patterns given by equations (1), (3) to (6), (9), (11), (12), and (14). From these patterns, then we may also look at different profiles through the 3D surface. But, the energy dispersion curves must still be separated into two parts, that is E(+) and E(-). These are given in Figs. 8 and 9, respectively. Especially for equation (4), the E(+) part is not presented in Fig. 8 because the 3D surface profile produces different pattern. Hence, only the E(-) part of equation (4) is given in Fig. 9. The rotation angle for each curve is the same, that is 60° and 20° for the X- and Y-rotations, respectively, so that the cones of each pattern are clearly observed.

From Fig. 8 it can be observed that the shape of E(+) of these equations is relatively the same. The only difference is the range of the energy dispersion values and the number of the Dirac points. There is another characteristic that stands out from equation (1), especially the E(+) pattern. Compared to the other patterns, the E(+) of equation (1) has a cone shape that is flatter on the x-axis. Furthermore, Fig. 9 below is the pattern of the E(-) for each equation.

From Fig. 9, it can be observed that the shape of E(-) is of two distinct patterns. The first group consists of equations (1), (6), (9), (11), (12), and (14). The characteristic of this group is that it has a pair of cones that is close together. The least number of cones is given by equation (1), while the other equations have the same number of cones. The second pattern consists of equations (3), (4), and (5), which has a six flower petal-like cone shape. At a specific  $k_x$  and  $k_y$ , this pattern only forms one flower petal arrangement consisting of six cone shapes. The

shallowest of these cone shapes is given by equation (4).

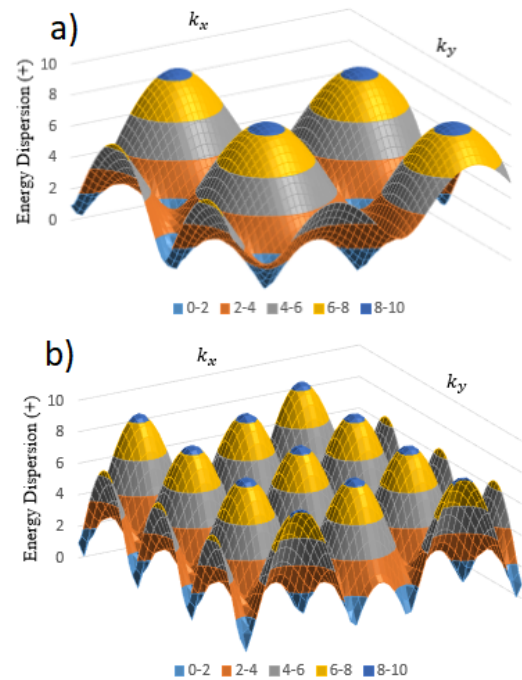


Figure 2. Sjolander's (2017) E(+) part with a) a = 1.42 Å and b) a = 2.46 Å.

Brocks (2015) actually have a similar pattern to Figs. 8 and 9, but it is relatively slanted, pointed, and seemingly stretched making the patterns look different. Besides that, Brocks' (2015) pattern is also inverted, i.e.: when the value of E is positive and negative, the curve is below and above the origin, respectively. This anomaly can be observed in Fig. 3.

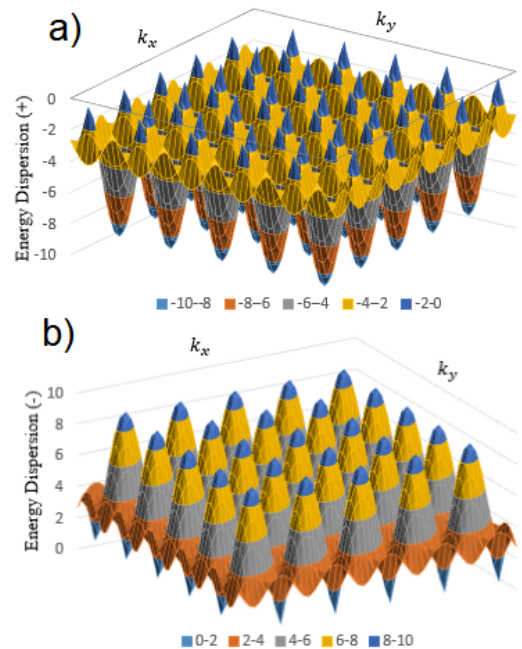


Figure 3. Brocks' (2015) energy dispersion parts, i.e.: a) E(+) and b) E(-).

The patterns that are different from the majority of the energy dispersion patterns are given by equations (2), (4), (8), and (13). Equation (2) is given by Fathi (2011). Based on the wireframe contour, it is observed that equation (2) does not directly show a hexagonal structure. The observation made using the 3D surface shows that there is a similarity between Fathi's (2011) pattern and E(+) pattern of equations (1), (3) to (6), (9), (11), (12), and (14). However, the low values of the energy dispersion and the cones that do not form a hexagonal structure at the specified  $k_x$  and  $k_y$  resulted in a different pattern when observed using the wireframe contour. This can be seen in Fig. 4.

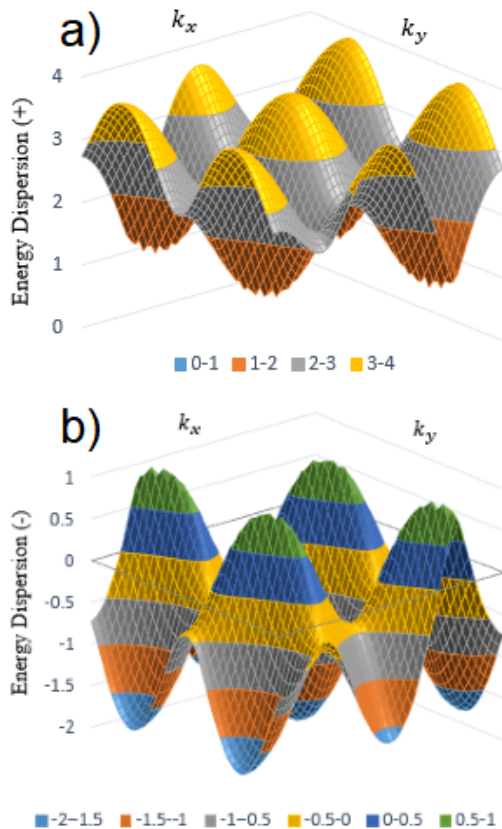


Figure 4. Fathi's (2011) energy dispersion parts with a) E(+) and b) E(-).

Moreau's (2016) and Armano's (2019) energy dispersion patterns have the same E(-) but differ from the majority of other E(-) patterns. To see in more detail, the E(-) patterns are simulated using the contour and 3D surface, which may be observed in Fig. 5. It can be seen that the pattern formed by Moreau's (2016) and Armano's (2019) also show a hexagonal structure. The pattern formed using the 3D surface is also similar to equations (1), (6), (9), (11), (12), and (14).

Finally, Kolb's (2012) E(+) pattern has the lowest value. This can be seen from the low values of the energy dispersion of the 3D surface in Fig. 6. This equation is considered poor because it cannot display a high enough energy dispersion values. If the observation is carried out using the wireframe contour, the energy dispersion pattern is very different from the majority

of other patterns (see Fig. 7 above).

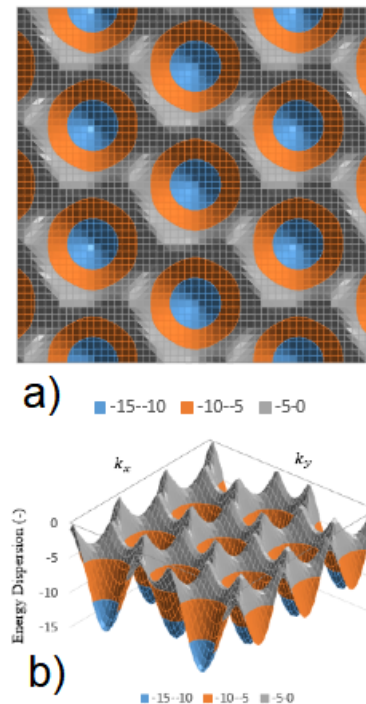


Figure 5. Moreau's (2016) and Armano's (2019) energy dispersions of the E(-) part with a) contour surface and b) 3D surface.

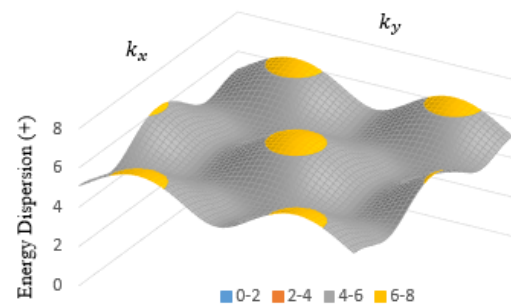


Figure 6. Kolb's (2012) energy dispersion of the E(+) part.

From this study, we can discuss the advantages and disadvantages of Spreadsheet in visualizing the energy dispersion of graphene. The advantage of the Spreadsheet is that it does not require complex programming to visualize the energy dispersion equation. As long as the parameters and mathematical equations are complete, a graph of the energy dispersion can be formed easily and quickly. Visualization can be done using a contour, wireframe contour, or 3D surface in the Spreadsheet menu chart. The use of these three features can be very helpful in visualizing the shape of the energy dispersion. Meanwhile, the weakness of Spreadsheet is that it cannot visualize E(+) and E(-) curves at one time. The graphene dispersion energy equation must be broken down into two parts to get the patterns.

The above results can be used in an online learning. This

may go as follows. First, students are given a task to look for articles concerning pencils. The article should contain an explanation of the constituent materials of pencils, the differences between graphene and graphite, the benefits of studying graphene, and several graphene energy dispersion equations using the tight binding method. Then, the students are asked to study the mathematical form of the energy dispersion equations without having to derive them as it only uses simple trigonometric function. Finally, the students are asked to simulate the equations using Spreadsheet.

Spreadsheet does not require complex programming so that students can feel the ease to use it. Making simulations using Spreadsheet makes the distance (online) learning fun during the COVID-19 pandemic. A benefit of making simulation is that students can easily understand the concept of the material being studied [26,27]. In addition, the unique patterns of graphene's energy dispersion using contour, wireframe contour, and 3D surface are also interesting to study. Students are asked to explain the similarities and differences in the patterns that are formed. The purpose of this activity is that students realize that the objects around them are composed of unique and interesting materials that can be simulated simply using a Spreadsheet. Studying the unique properties of materials will be useful for students' further study. University students and experts can also use this simulation for research concerning the formulation of Dirac points, which is useful in understanding the benefit in not having band gaps in graphene.

#### IV. CONCLUSION

In this study, we have simulated graphene's energy dispersion based on various literature sources from 2010 to 2019. All simulations are made using Spreadsheet. In general, the mathematical form of the energy dispersion equations are different. However, most of these equations produce similar simulation results of honeycomb hexagonal structure with Dirac points in wireframe and 3D surface patterns. The results of this simulation can be used in teaching undergraduate students about the energy dispersion of graphene. In addition, students may also be encourage to make simple simulations using Spreadsheet.

#### REFERENCIAS

- [1] K. Mukhtar, K. Javed, M. Arooj, and A. Sethi, *Pakistan J. Med. Sci.* **36**, S27 (2020).
- [2] R. M. Peloso, F. Ferruzzi, A. A. Mori, D. P. Camacho, L. C. da Silva Franzin, A. P. M. Teston, and K. M. S. Freitas, *Eval. Health Prof.* **43**, 201 (2020).
- [3] S. Becker, R. Han, and S. Jitomirskaya, *Invent. Math.* **218**, 979 (2019).
- [4] N. Moreau, "Development of a tight-binding model to study Hofstadter's butterfly in graphene on h-BN exhibiting a moiré pattern", Dissertation, University Catholique de Louvain, Belgium, 2017.
- [5] A. V. Rozhkov, A. O. Sboychakov, A. L. Rakhmanov, and F. Nori, *Phys. Rep.* **648**, 1 (2016).
- [6] Q. Luo, The elementary electronic properties of graphene, available in: [http://sces.phys.utk.edu/dagotto/condensed/HW1\\_2010/Qinlong\\_graphene.pdf](http://sces.phys.utk.edu/dagotto/condensed/HW1_2010/Qinlong_graphene.pdf), accessed 12/11/2020.
- [7] G. Kalita and M. Tanemura, *Graphene materials-advanced applications (InTech)* (2017).
- [8] S. A. Rani, A. Ariswan, S. Supardi, H. Putranta, A. Y. Purnama, and W. S. B. Dwandaru, *TEM J.* **11**, 981 (2022).
- [9] P. Marconcini and M. Macucci, *Riv. del Nuovo Cim.* **34**, 489 (2011).
- [10] M. Iqbal, F. Ahmed, A. Iqbal, and Z. Uddin, *Phys. Educ.* **55**, 063006 (2020).
- [11] M. I. González, *Phys. Educ.* **53**, 035016 (2018).
- [12] I. Singh, B. Kaur, and K. K. Khun, *Eur. J. Phys.* **40**, 045003 (2019).
- [13] R. G. Rinaldi and A. Fauzi, *Phys. Educ.* **55**, 015024 (2020).
- [14] Z. Uddin, M. Ahsanuddin, and D. A. Khan, *Phys. Educ.* **52**, 053001 (2017).
- [15] D. Fathi, *J. Nanotechnol.* **2011**, 1 (2011).
- [16] M. Aydin and D. L. Akins, *Electronic properties of carbon nanotubes (InTech)* (2011).
- [17] F. Kolb, Obtaining the band structure of a 2D hexagonal lattice using the tight binding model with a MATLAB GUI, available in: [http://lamp.tu-graz.ac.at/hadley/ss1/bands/tbtable/BN\\_kolb.pdf](http://lamp.tu-graz.ac.at/hadley/ss1/bands/tbtable/BN_kolb.pdf), accessed 12/11/2020, accessed 12/11/2020.
- [18] M. Muoth, "Clean integration of single-walled carbon nanotubes for electromechanical systems". Thesis, ETH Zurich, Switzerland, 2013.
- [19] V. Kadirko, K. Ziegler, and E. Kogan, *Sci. Res.* **02**, 97 (2013).
- [20] G. Brocks, Graphene: an introduction, available in: [http://www.acmm.nl/molsim/han/2015/brocks\\_notes.pdf](http://www.acmm.nl/molsim/han/2015/brocks_notes.pdf), accessed 12/11/2020.
- [21] J. Zhu, F. Niu, C. Zhu, J. Yang, and N. Xi, *J. Sensors*, 1 (2016).
- [22] S. Sjölander, "Modelling graphene field-effect transistors", Thesis, Lund University, Sweden, 2017.
- [23] F. Utermohlen, Tight-binding model for graphene, available in: [https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/u.osu.edu/dist/3/67057/files/2018/09/graphene\\_tight-binding\\_model-1ny95f1.pdf](https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/u.osu.edu/dist/3/67057/files/2018/09/graphene_tight-binding_model-1ny95f1.pdf), accessed 12/10/2020.
- [24] A. Armano and S. Agnello, *C-J. Carbon Res.* **5**, 67 (2019).
- [25] A. Adhikary, B. Guislain, D. Yang, J. Yu, and Y. Xiao, A survey of electronic properties in bilayer graphene, available in: <https://phas.ubc.ca/berciu/TEACHING/PHYS502/PROJECTS/BiGraph.pdf>, accessed 12/11/2020.
- [26] I. Singh, K. K. Khun, and B. Kaur, *Phys. Educ.* **53**, 055010 (2018).
- [27] S. A. Rani, Mundilarto, Warsono, and W. S. B. Dwandaru, *J. Phys. Conf. Ser.* **1321**, 022026 (2019).

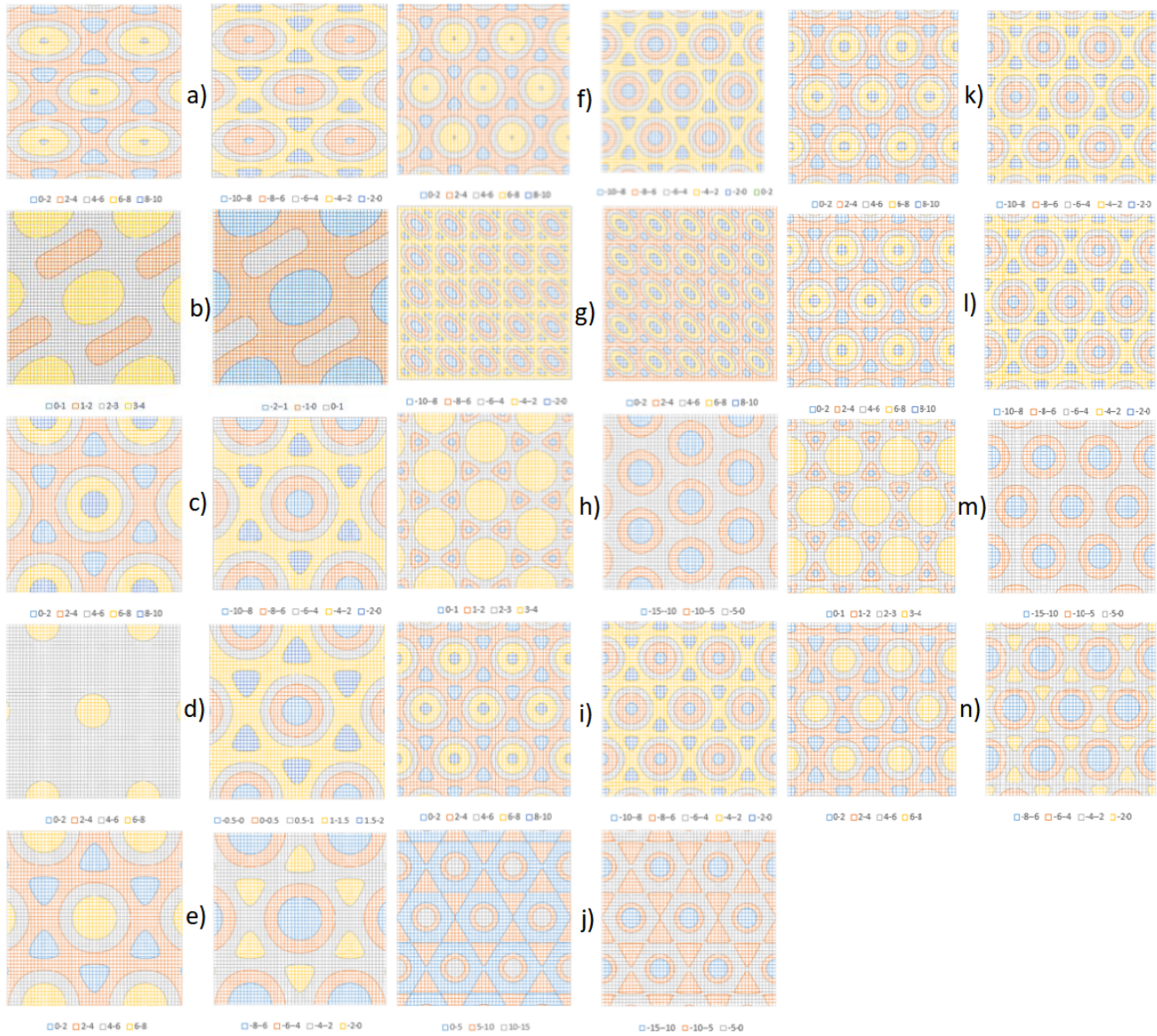


Figure 7. Graphene energy dispersion for a) Luo (2010); b) Fathi (2011); c) Aydin, et al (2011); d) Kolb (2012); e) Muoth (2013); f) Kadirko (2013); g) Brocks (2015); h) Moreau (2016); i) Zhu, et al (2016); j) Rozhkov, et al (2016); k) Sjolander (2017); l) Utermohlen (2018); m) Armano, et al (2019); and n) Adhikary, et al (2019).

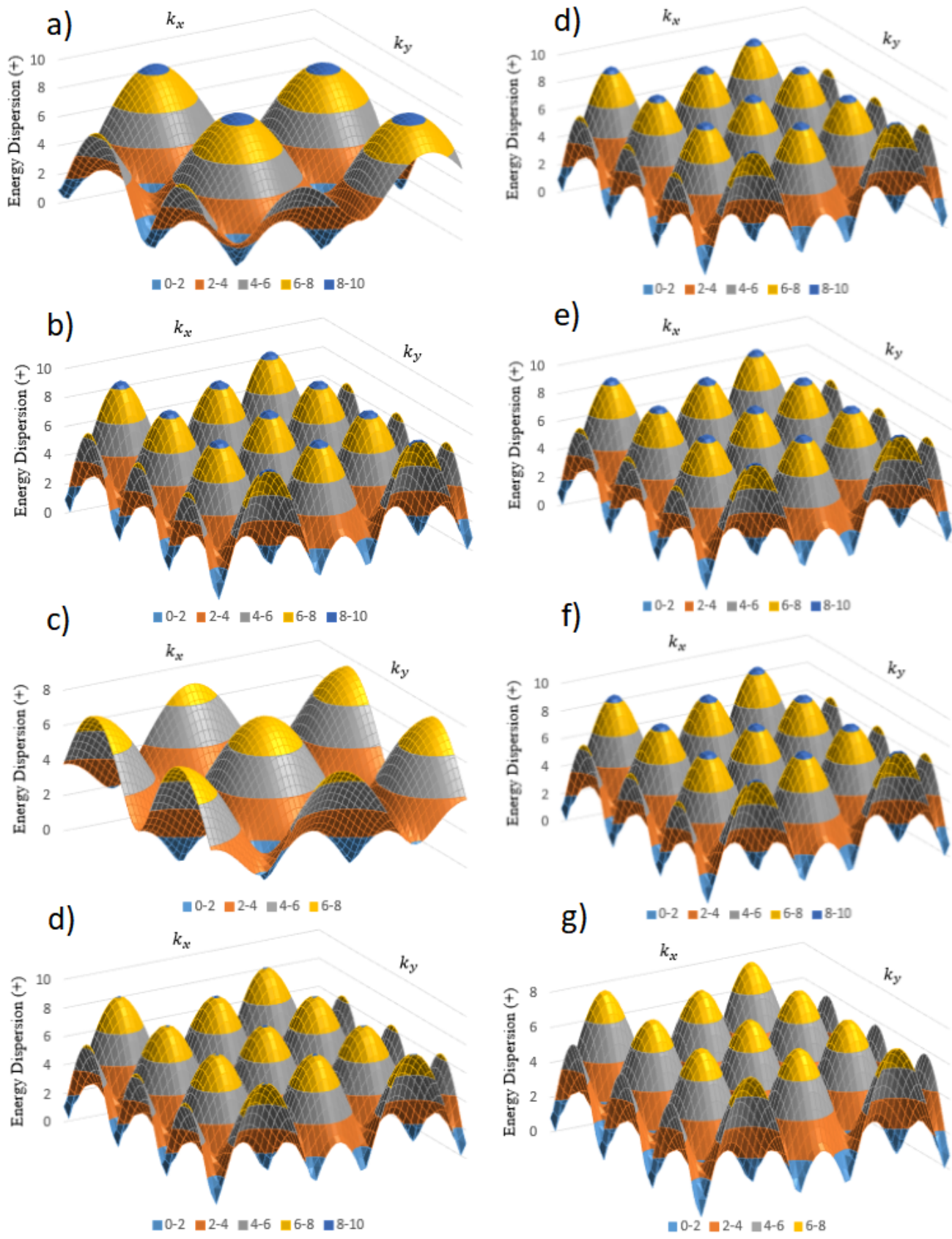


Figure 8. Graphene's energy dispersion of  $E(+)$  from a) Luo (2010); b) Aydin, et al (2011); c) Muoth (2013); d) Kadirko (2013); e) Zhu, et al (2016); f) Sjolander (2017); g) Utermohlen (2018), and h) Adhikary, et al (2019).

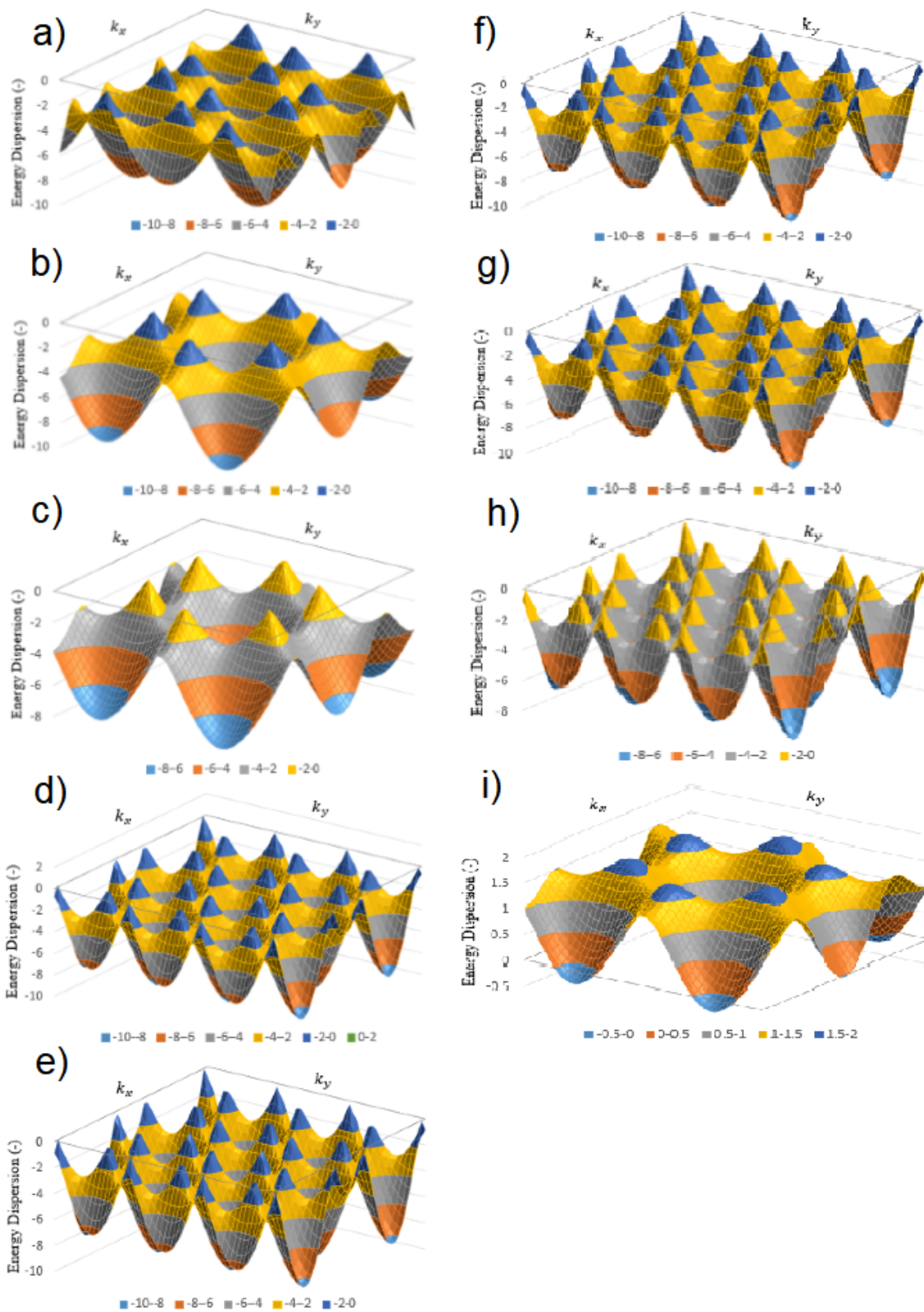


Figure 9. Graphene's energy dispersion of  $E(-)$  from a) Luo (2010); b) Aydin, et al (2011); c) Muoth (2013); d) Kadirko (2013); e) Zhu, et al (2016); f) Sjolander (2017); g) Utermohlen (2018); h) Adhikary, et al (2019) and i) Kolb (2012).

Table 3. Graphene's energy dispersion formulas

Author	Equation	Parameters	Software
Luo [6]	$E(k) = \mp t_1 \sqrt{3 + f(\vec{k})} - t_2 f(\vec{k}) \quad (1)$ $f(\vec{k}) = 2\cos(\sqrt{3}ak_y) + 4\cos(\frac{\sqrt{3}}{2}ak_y)\cos(\frac{\sqrt{3}}{2}ak_y)$ <p>Note: the equation is wrong, it should be <math>\cos(\frac{\sqrt{3}}{2}ak_x)</math> not <math>\cos(\frac{\sqrt{3}}{2}ak_y)</math></p>	$a \approx 1.42 \text{ \AA}$ $t_1 = 2.7 \text{ eV}$ $t_2 = 0$	-
Fathi [15]	$\epsilon = \alpha \mp \beta \sqrt{3 + \cos(\frac{a}{2}(\sqrt{3}k_x + k_y))} + 2\cos(\frac{a}{2}(\sqrt{3}k_x - k_y)) + 2\cos(ak_y) \quad (2)$	$a = 2.46 \text{ \AA}$	Matlab
Aydin, et al [16]	$E(k) = \mp \gamma \sqrt{3 + 2[\cos(\vec{k} \cdot \vec{a}_1) + \cos(\vec{k} \cdot \vec{a}_2) + \cos(\vec{k} \cdot \vec{a}_1 - \vec{k} \cdot \vec{a}_2)]} \quad (3)$ $\vec{k} = k_x \hat{x} + k_y \hat{y}$ $E(k) = \mp \gamma \sqrt{3 + 2[\cos(\frac{a}{2}(\sqrt{3}k_x + k_y)) + \cos(\frac{a}{2}(\sqrt{3}k_x - k_y)) + \cos(ak_y)]}$	$a = \sqrt{3}a_{cc}$ $a_{cc} = 0.142 \text{ nm}$ $\gamma = 2.9 \mp 0.2 \text{ eV}$	-
Kolb [17]	$\frac{(\epsilon_B + \epsilon_N)}{2} \mp \sqrt{\frac{(\epsilon_B - \epsilon_N)^2}{2} + 4t^2[(\cos(\frac{k_y a}{2}))^2 + \cos(\frac{\sqrt{3}k_y a}{2})\cos(\frac{k_y a}{2}) + \frac{1}{4}]} \quad (4)$	$\epsilon_B = 4$ $\epsilon_N = 2.1$ $t = 1$	Matlab GUI
Muoth [18]	$E = E_0 \mp \gamma_0 \sqrt{1 + 4\cos(\frac{\sqrt{3}k_x a}{2})\cos(\frac{k_y a}{2}) + 4\cos^2(\frac{k_y a}{2})} \quad (5)$	$a = 0.246 \text{ nm}$ $E_0 = 0 \text{ eV}$ $\gamma_0 = 2.5 - 3.3 \text{ eV}$	Matlab
Kadirko [19]	$E(k) = \mp t \sqrt{3 + f(k)} - t' f(k) \quad (6)$ $f(k) = 2\cos(\sqrt{3}k_y a) + 4\cos(\frac{\sqrt{3}}{2}k_y a)\cos(\frac{3}{2}k_x a)$	$a = 1.42 \text{ \AA}$ $t = 2.8 \text{ eV}$ $t' = 0.02t - 0.2t$	-
Brocks [20]	$E_k = E_p \mp t \sqrt{3 + 2\cos(2\pi k_1) + 2\cos(2\pi k_2) + 2\cos(2\pi(k_1 + k_2))} \quad (7)$ <p>Note: <math>k_1 = k_x</math> dan <math>k_2 = k_y</math></p>	$E_p = 0$ $t \approx -3 \text{ eV}$	-
Moreau [4]	$E = \mp \gamma_n \sqrt{3 + f(k)} - \gamma_{nm} f(k) \quad (8)$ $f(k) = 2\cos(\sqrt{3}k_x a) + 4\cos(\frac{3}{2}k_x a)\cos(\frac{3}{2}k_y a)$	$a = 2.46 \text{ \AA}$ $\gamma_n = 2.8$ $\gamma_{nm} = 0.2\gamma_n$	Matlab
Zhu, et al [21]	$E(k) = \mp t \sqrt{3 + 2\cos(\sqrt{3}k_y a) + 4\cos(\frac{\sqrt{3}}{2}k_y a)\cos(\frac{3}{2}k_x a)} \quad (9)$	$a \approx 1.42 \text{ \AA}$ $t = 2.8 \text{ eV}$	Matlab
Rozhkov, et al [5]	$\epsilon_k = \mp t  f(k)  \quad (10)$ $f(k) = 2\cos(\sqrt{3}k_y a_0) + 4\cos(\sqrt{3}k_y a_0/2)\cos(3k_x a_0/2)$	$a_0 = 1.42 \text{ \AA}$ $t = 2.5 - 3 \text{ eV}$	-
Sjolander [22]	$E(k) = \mp h_0 \sqrt{ f(k) ^2 - h_1  f(k) ^2} \quad (11)$ $ f(k) ^2 = 3 + 4\cos(\frac{\sqrt{3}}{2}k_y a_{c-c})\cos(\frac{3}{2}k_x a_{c-c}) + 2\cos(\sqrt{3}k_y a_{c-c})$	$a_{c-c} = 1.42 \text{ \AA}$ $h_0 = 2.8 \text{ eV}$ $h_1 = 0$	Matlab
Utermohlen [23]	$E(k) = \mp t \sqrt{1 + 4\cos(\frac{3}{2}k_x a)\cos(\frac{\sqrt{3}}{2}k_y a) + 4\cos^2(\frac{\sqrt{3}}{2}k_y a)} \quad (12)$	-	-
Armano, et al [24]	$E = \frac{\epsilon_{2pz} \mp t \sqrt{ f(k) }}{1 \mp s \sqrt{ f(k) }} \approx \epsilon_{2pz} \mp t \sqrt{ f(k) } - s  f(k)  + \dots \quad (13)$ $f(k) = 1 + 4\cos(\frac{\sqrt{3}}{2}k_y a)\cos(\frac{3}{2}k_x a) + 4\cos^2(\frac{\sqrt{3}}{2}k_y a)$ <p>Note: the equation is wrong, it should be <math>\cos(\frac{3}{2}k_x a)</math> not <math>\cos(\frac{3}{2}k_y a)</math></p>	$a = 1.42 \text{ \AA}$ $t = 2.7 \text{ eV}$ $s = 0.2t$ $\epsilon_{2pz} = 0$	-
Adhikary, et al [25]	$\epsilon = \mp \gamma_0 \sqrt{1 + 4\cos(k_x \frac{3a}{2})\cos(k_y \frac{\sqrt{3}a}{2}) + 4\cos^2(k_y \frac{\sqrt{3}a}{2})} \quad (14)$	$\gamma_0 = 2.5 - 3 \text{ eV}$	Matlab

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.



# LEARNING MEDIA SIMULATION OF SIGNAL PROCESSING USING JAVASCRIPT PROGRAMMING LANGUAGE AS ALTERNATIVE TO DISTANCE LEARNING

## APRENDIENDO LA SIMULACIÓN EN LOS MEDIOS DEL PROCESAMIENTO DE SEÑALES USANDO LA PROGRAMACIÓN EN EL LENGUAJE JAVASCRIPT COMO UNA ALTERNATIVA DE LA ENSEÑANZA A DISTANCIA

A. Y. PURNAMA<sup>a,††</sup>, A. ARISWAN<sup>b</sup>, E. ISTIYONO<sup>b</sup>, H. KUSWANTO<sup>b</sup>, H. PUTRANTA<sup>c</sup>, D. N. SETYAWAN<sup>d</sup>, R. SAPUTRI<sup>e</sup>

a) Education Science Department, Concentration of Physics Education, Graduate School, Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No. 1, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia; adityayoga.2020@student.uny.ac.id.

b) Physics Education Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Yogyakarta. Jl. Colombo No. 1, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia.

c) Department of Physics Education, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta, Jl. Laksda Adisucipto, Papringan, Caturtunggal, Depok, Sleman, Indonesia.

d) Department of Science Education, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Jl. Batikan UH.III/1043, Yogyakarta 55167, Indonesia.

e) Department of Science Education, Graduate School, Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No. 1, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia.

f) Department of Physics Education, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Jl. Batikan UH.III/1043, Yogyakarta 55167, Indonesia.

† corresponding author

Recibido 17/1/2023; Aceptado 17/4/2023

The main objective of this research is to create a signal processing simulation using Javascript programming language on acoustic waves. Signal processing uses Fourier Transform to convert signals from the time domain to the frequency domain. Acoustic wave samples were obtained from a Javanese musical instrument called Gamelan. Acoustic wave signals from Gamelan are chosen because there is still little research on Gamelan signal processing. This research has successfully created a simulation using Javascript programming language. The simulation can show the waveform in function of time and its wave spectrum. The convenience of this tools for distant learning is substantiated.

El objetivo principal de esta investigación es crear una simulación de procesamiento de señales usando el lenguaje de programación Javascript. El procesamiento de señales usa la transformada de Fourier para convertir señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Se obtuvieron muestras de señales acústicas de un instrumento musical típico de Java llamado Gamelan. Se escogieron las señales acústicas del Gamelan porque aún existe poca investigación en su procesamiento. Hemos logrado crear una simulación usando el lenguaje de programación Javascript. La simulación es capaz de mostrar la forma de onda en el tiempo, y su espectro. Se argumenta la conveniencia de esta herramienta para la enseñanza a distancia.

PACS: Physics education (enseñanza de la física), 01.40.-d; Physics teaching methods (métodos de enseñanza de la física), 01.40.gb; Educational aids (ayudas educativas), 01.50.-i; Computers in experimental physics (computadores en física experimental), 05.07.-t; Simulation (simulación), 52.65.-y; Audiovisual means (medios audiovisuales), 01.50.F-; Use of computers in physics education (uso de computadoras en la enseñanza de Física) 01.50.ht; Using computers in the laboratory (uso de computadoras en el laboratorio), 01.50.Lc.

### I. INTRODUCTION

The study of acoustic waves is a classic problem that is often discussed in physics textbooks at university. Almost every physics laboratory at the undergraduate level includes acoustic wave experiments. For some students, acoustic waves are one of the most difficult materials because they are classified as abstract so that learning is needed through direct observation and investigation [1]. This is due to the understanding of science, especially physics, based on giving meaning to abstract or intangible material [2]. In recent years, the benefits of technology in the science learning process have been widely practiced [3-9]. This shows that in the 21st century the use of technology is increasingly important. The use of technology in learning includes animated videos, programming simulations, and similar technological tools [2]. 21st century skills require students to master the use of technology to face global competition. The 21st century

skills that must be mastered include information and communications technology literacy, contextual learning skills, information and media literacy skills [10]. Technology has been widely used to assist the learning process, one of which is to help students know the relationship between theory and experiment [9]. However, technology is actually not to replace the role of teachers because education is not only to make them academically smart but also have character [11].

One of the important things in learning is achieving learning objectives. Many learning models can be chosen in the classroom, but not all learning models are applied according to the characteristics of the material and students [5]. This is in accordance with previous researchers' statements that no learning model is suitable for all concepts, therefore the model must be adjusted to the material being taught [5,12,13]. One of the models, namely simulation, will be used in this study. This simulation-based learning media research is only limited to



acoustic wave material. Simulation is used in research because it has many advantages including being able to facilitate students to learn independently so that positive cognitive changes occur [6, 14, 15].

The use of simulation media has been widely used by previous researchers. Research conducted by [16] showed that simulation media had a positive influence on school students. The application of simulation media has advantages and attractiveness to foster active learning in school students. However, it has disadvantages such as limited multimedia space in secondary schools [16]. The application of virtual simulations was also carried out by [17] in distance learning during Covid-19. The results of the research analysis showed that the learning outcomes and motivation of students showed a significant increase. The results of this study indicate that virtual simulation media can be used as an alternative to the limitations of teaching aids for practicum. This is also in accordance with the findings of [18] who revealed that the experimental group in his research through computer simulation was more successful than the control group conducted face-to-face. In addition, research conducted by [19] showed that PhET-based simulation media can be used to provide students with an understanding of the general form of waves. Increased student understanding occurs due to interactive discussions between lecturers and students. However, the Phet-based simulation only determines the general shape of the propagating wave, not yet using the Fourier Transformation to see the spectrum. The creation of Phet-based simulations also uses the Javascript programming language. This shows that the use of simulation has an important role in the learning process.

Simulation-based media research on acoustic wave material will use waves with Gamelan sound sources. Gamelan is one of the Indonesian artworks with a distinctive sound. Gamelan is a result of art that can be used as a medium for learning physics, namely on acoustic wave material. Javanese Gamelan research has been used by several researchers, one of which investigates the frequency of gamelan measured using Audacity software [20]. Gamelan sounds have also been analyzed for their frequency values using Visual Analyser software [21]. Previous research shows that Gamelan sound processing has been done using several software, but no one has used the Javascript programming language.

This research will use Javascript programming language to create signal processing simulations on acoustic waves. Research using Javascript programming language for Gamelan acoustic wave processing has never been done by previous researchers, which constitutes a novelty in this research. This is a novelty in research. Javascript programming language is usually only used in making websites [22]. The Javascript programming language was chosen by researchers because users do not need to buy software because access can easily use existing browsers. Therefore, this research aims to create a simulation using Javascript programming language on gamelan acoustic waves.

## II. METHODS

We aim at producing simulation media using Javascript. The development uses Borg & Gall's Research and Development (R&D) development steps which consist of 10 stages. However, in this study only up to stage 3, namely product design development. Systematically the flow of development research is as follows (1) preliminary study (research and information collecting), (2) planning, (3) product design development (developing preliminary form of product), (4) limited trial (preliminary field testing), (5) main product revision, (6) wider trial (main field testing), (7) operational product revision (operational product revision), (8) final product trial (operational field testing), (9) final product revision, and (10) dissemination and implementation. The following R&D model can be seen in Fig. 1 below.

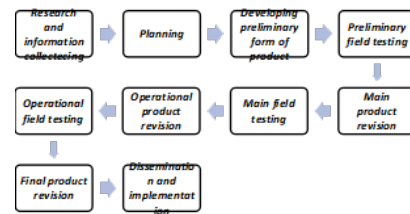


Figure 1. Research Flow Chart.

### Research and Information Collection

This first step includes a needs analysis, as well as a literature study.

### Planning

Developing a research plan, including the skills needed in conducting the research, formulating the objectives to be achieved by the research, design or research steps.

### Developing Preliminary Form of Product

This step includes determining the design of the product to be developed (hypothetical design), determining the research facilities and infrastructure needed during the research and development process. At this stage, researchers began designing simulation media and supporting components in the preparation of learning media.

### Preliminary Field Testing

The field trial stage is an activity to conduct a validation stage on the draft product developed.

### Main Product Revision

This step is a product improvement based on the test of suggestions and advice from experts which aims to improve the developed product.

### Main Field Testing

At this stage the activity carried out is a field trial conducted on students.

### Operational Product Revision

This step is a product improvement on the results of the field test based on input and the results of the main field test.

### Operational Field Testing

Products that have been revised based on input and suggestions at the small-scale test stage are then tested to test the experimental and control classes.

### Final Product Revision

Product refinement of field implementation test results is the final revision of simulation media.

### Dissemination and Implementation

The last step in the process of developing this learning model is dissemination to the community by socializing the product in the form of dissemination or online through the web or research seminars and journal publications.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### Research and Information Collection

This first step includes needs analysis, as well as literature studies. The needs analysis begins with several criteria including the product being developed is important for the world of education, product development is possible to be developed, literature study. The literature study is aimed at collecting research findings and other information related to the planned product.

### Planning

After conducting a preliminary study, then plan the research. Planning includes: formulating the purpose of the research, formulating the form of participation in the research.

### Developing Preliminary Form of Product

### Simulation Creation Process

This research uses a simulation using the Javascript programming language as shown in Figure 2. This research uses Fourier Transform analysis on the signal. Fourier Transform was chosen because it has been successfully used by many researchers with satisfactory results [23–25].

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4   <meta charset="UTF-8">
5   <meta name="viewport" content="width=device-width,
6     initial-scale=1.0">
7   <!-- <script src="script.js"></script -->
8   <script src="https://cdn.plot.ly/plotly-latest.min.js"></scrip
9
10  <script type="text/javascript" src="https://dygraphs.com/1.1.0
11    dygraph-combined-dev.js"></script>
12  <script type="text/javascript" src="https://rawgit.com/corbamb
13    /dsp-js/master/dsp.js"></script>
14
15  <!-- load p5.js audio -->
16  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/p5@1.3.1/p5.js">

```

Figure 2. Javascript Coding.

Fig. 2 shows the coding for making simulations using Sublime Text software. Coding in Fig. 2 starts with creating HTML, HTML starts with an opening tag <> and ends with a closing tag </>. In general, HTML is a framework while Javascript is a programming language. HTML contains head and body.

The head section contains <title> and the source that will be used in making simulations. In this study using several plugins including unpkg.com and cdnjs.cloudflare.com. The next step is between the opening tag <body> and the closing tag </body> signal processing coding is made. First create a heading with the script <h4> Select an WAV File</h4>. Then to create the input file, write the script <input type="file" id="file-input"/> with the file extension .wav or audio with the script <audio id="audio"><source id="source" src="" type="audio/wav" /></audio>. Before being transformed, a windowing process is carried out first in order to reduce noise. Next, the Fast Fourier Transform is used to transform the signal from the time domain to the frequency domain.

### Stages of signal processing using simulation

The first stage is recording the Gamelan sound. The gamelan used in signal processing is owned by one of the craftsmen in the Panggunharjo area, Sewon, Bantul. After getting the gamelan sound recording convert the Gamelan signal file into a .wav or audio extension. Next, enter the file in the software by clicking browse. Then a signal display of the Gamelan sound in the time domain and its spectrum in the frequency domain will appear as shown in Fig. 3.

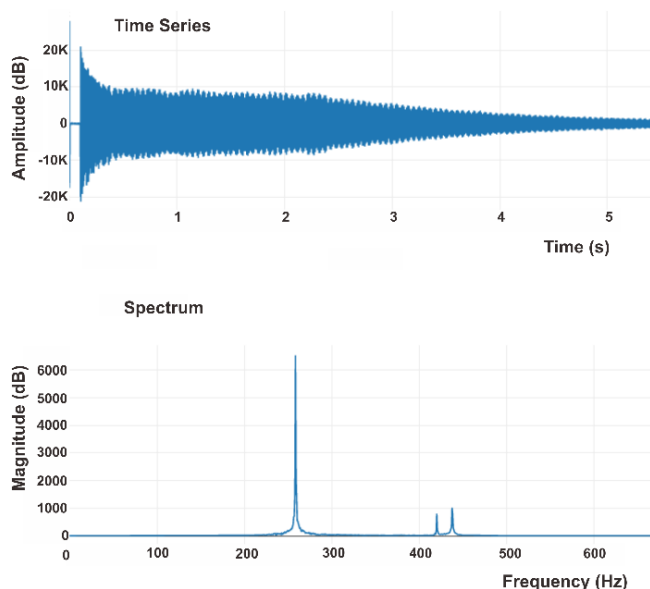


Figure 3. Signal Processing Results Using Javascript Programming Language.

In Fig. 3, the signal is first obtained in the time domain after which it is processed using a windowing process. There are various types of windowing functions such as Rectangular window, Hanning window, Hamming window, and Gaussian. In this research, rectangular window is used. After that, the FFT (Fast Fourier Transform) process is performed on each window. From each window then averaged and get the spectrum of the signal processing.

By using the Fourier Transform, the signal is obtained from the time domain (time series) changing to the frequency domain or what we often refer to as the spectrum. The flowchart of

signal processing is further explained in Fig. 4.



Figure 4. Signal processing flow chart.

There are 3 types of Gamelan basic materials namely Iron, Brass, and Bronze. According to the results of an interview with one of the Gamelan craftsmen, among the three types of basic materials, the best is Bronze. Bronze has a longer tone than other types, so this type is the most in demand. The composition of making a bronze Gamelan is 3 kg of white tin and 10 kg of copper. The material is then melted together to be used as a Gamelan instrument. In this study, a small gong sound recording called Bende was used. Bende display is shown in Fig. 5. Sound recording was done 3 times to get accurate results.



Figure 5. Bronze Material Type Bende.

The first stage carried out in this study was the recording of the bende which was measured 3 times. However, this research was carried out recording when it was raining so it was possible that the sound of rain was also included in the recording. Bende recording results on software created using Javascript are shown in Fig. 6.

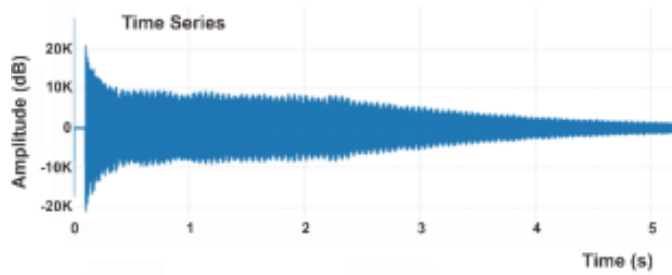


Figure 6. Sound Recording of Bende in the First Measurement.

The recorded sound of the bende was converted into wav format so that it could be displayed and analysed for frequency. In Fig. 6, the x-axis is the time component while the y-axis is the amplitude component. Furthermore, the frequency analysis of 3 bende sound recordings using the Fourier Transform. Software created using Javascript can be used to process the Fourier Transform, the results of which are shown in Fig. 7.

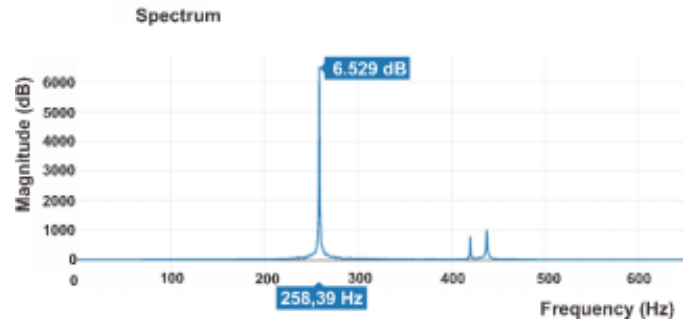


Figure 7. Results of frequency analysis on Bende first measurement.

In Fig. 7, the x-axis is the frequency component while the y-axis is the amplitude. Fourier Transformation is used in this article. The result of the Fourier Transform is a complex number consisting of the Real number and its Imaginary number. Then the transformation result is converted to absolute number form. Mathematically from complex numbers to absolute numbers, namely  $|z| = |x + yi| = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{[Re(z)]^2 + [Im(z)]^2}$ .

Real numbers are shown in Re while imaginary numbers are shown in Im. The first Bende measurement obtained an amplitude value of 6.529 dB while the base frequency or fundamental frequency was 258,39 Hz. The second Bende measurement obtained an amplitude value of 6.529 dB while the base frequency or fundamental frequency was 258,39 Hz. The third Bende measurement obtained an amplitude value of 6.529 dB while the base frequency or fundamental frequency was 258,39 Hz. These repeated measurements show that the results of frequency analysis are the same at a frequency of 258,39 Hz for Bende type Gamelan.

### Signal Processing Theory

Acoustics is a physical science that studies wave motion in the form of gas, liquid or solid and the effects of wave motion [26]. The wave equation in one dimension is shown in eq. (1).

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1)$$

### Signals and Sampling

In general, there are two types of signals: analog and digital. Analog signals are commonly referred to as continuous signals and digital signals are derived from analog signals that are sampled according to their sampling frequency (sampling rate). According to the Nyquist criterion, the minimum

sampling frequency ( $f_s$ ) is 2 times the frequency of the analog signal to be converted. If this criterion is not met there will be an aliasing effect shown in eq. (2).

$$2f_{max} < f_s \quad (2)$$

### Fourier Transformation

One of the mathematical methods used to analyze and decompose signals in the frequency domain is the Fourier Transform [27]. A signal in the time domain will be transformed into the frequency domain to be analyzed. One of the transformations that can be used to convert signals in the time domain into the frequency domain is the Fourier Transform. Mathematically the Fourier Transform is shown in eq. (3).

$$X(F) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-2t\pi ft) dt \quad (3)$$

Eq. (3) defines  $X(f)$  in the frequency domain as the Fourier Transform of the signal function  $x(t)$  in the time domain. The variables  $t$  is time and  $f$  is frequency, while is the kernel function, and The output of the Fourier Transform is a complex number shown in eq. 4.

$$X(f) = R(f) + i(f) = |X(f)| \exp(i\theta(f)) \quad (4)$$

$R(f)$  is the real part of the Fourier Transform, while  $I(f)$  is the imaginary part of the Fourier Transform. While is the Fourier Spectrum obtained from and is the phase angle of the Fourier Transform obtained using . The Fourier Transform plays an important role in many fields such as computer graphics, image processing and physics.

### Implementation in Learning

This learning media using Javascript programming language is used as a visual aid that can provide real experience for students. This paper shows that Javascript is a tool that can be used for innovative learning. This technology is suitable for distance learning. Distance learning methods are required to be effective because of the importance of knowledge transfer to students [9]. Easy-to-use media for distance learning can be done with simulation-based media. This paper has successfully used Javascript programming language in simulating the shape of acoustic wave signals in the time domain and its spectrum. Javascript also helps in improving critical thinking skills and concept understanding [28,29]. This paper has also successfully integrated several fields of science including from a physics point of view on acoustic wave material. Learning using other disciplines and being connected will add insight to students in the application of physics concepts. It appears that physics material can be integrated with other fields of science such

as mathematics, engineering and art or often called STEM. Learning using other disciplines can help students learn with relevant contexts. Based on the relationship between these sciences, an integrated approach is possible.

This also shows that local wisdom in Indonesia also supports innovative learning. Learning using current technology is also important especially in today's technological era.

### IV. CONCLUSIONS

This paper has successfully produced a product, namely making a signal processing simulation using the Javascript programming language on acoustic waves. This paper also shows that the use of Javascript programming language can be implemented in learning, especially in the field of physics. Students gain insight into signal processing from the time domain to the frequency domain using the Fourier Transform. The frequency has been obtained for one type of the musical instrument called Gamelian.

### REFERENCES

- [1] D. P. Anggraeni, Sukarmin, and F. Nurosyid, J. Phys. Conf. Ser. **1153**, (2019).
- [2] B. Pekdağ, J. Turkish Sci. Educ. **7**, 79 (2010).
- [3] M. M. Hafid, J. Turk. Sci. Educ. **19**, 1119 (2022).
- [4] R. Jantrasee, J. Turk. Sci. Educ. **19**, 1155 (2022).
- [5] S. Rahayu, J. Pendidik. Fis. dan Teknol. **1**, 118 (2017).
- [6] D. R. Rizaldi, A. W. Jufri, and J. Jamaluddin, J. Ilm. Profesi Pendidik. **5**, 10 (2020).
- [7] A. P. Sasmito and P. Sekarsari, J. Turk. Sci. Educ. **19**, 180 (2022).
- [8] M. Sosa, Rev. Mex. Fis. **51**, 102 (2005).
- [9] A. Yoga Purnama, H. Kuswanto, S. Ayunisa Rani, and H. Putranta, Rev. Mex. Fis. **19**, 1 (2022).
- [10] A. Jayadi, D. H. Putri, and H. Johan, J. Kumparan Fis. **3**, (2020)
- [11] A. Fatwa, J. Mhs. Teknol. Pendidik. **1**, 0 (2021).
- [12] A. Arseven, Univers. J. Educ. Res. **3**, 973 (2015).
- [13] D. V and Y. A, Arts Soc. Sci. J. **7**, 66 (2016).
- [14] E. H. Au and J. J. Lee, Int. J. Innov. Educ. **4**, 215 (2017).
- [15] M. S. Khine, Int. Trends Educ. Assess., **1** (2019).
- [16] E. Putriani and Sarwi, Unnes Phys. Educ. J. **3**, 34 (2014).
- [17] I. P. Y. Setia Permana and E. Purwaningsih, J. Pendidik. Fis. **10**, 17 (2022).
- [18] C. Bayrak, Turkish Online J. Distance Educ. **9**, 62 (2008).
- [19] K. Kusumaningtyas, Tecnoscienza **1**, 39 (2017).
- [20] Y. Pramudya, L. Widayanti, and F. Melliagrina, J. Phys. Conf. Ser., 1075 (2018).
- [21] Mitrayana and V. J. Cytasari, J. Fis. Indones. **18**, (2015).
- [22] F. C. Andika, I. D. Kurniawati, and S. Nita, Pros. Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Komun. **2**, 135 (2019).
- [23] A. Ripai, Z. Abdullah, and M. Syafwan, J. Fis. Unand **8**, 171 (2019).
- [24] D. R. Suryandari and F. A. Yulianto, "Dekomposisi Nilai Singular Dan Discrete Fourier Transform" (2009).
- [25] S. Veerasingam et al., Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. **51**, 2681 (2021).
- [26] S. Sugiyanto, J. D. Setiawan, F. Nugraha, and R. W. Yuwana, Rotasi **21**, 115, (2019).

[27] N. H. Wibowo, S. Musdalifah, and R. Resnawati, J. Ilm. Mat. Dan Terap. **16**, 1 (2019).  
[28] D. Apriandi and R. K. Setyansah, Aksioma J. Pendidik.

Mat. **6**, 159 (2017).  
[29] L. Herayanti and H. Habibi, J. Pendidik. Fis. dan Teknol. **1**, 61 (2017).

---

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.



# ANALYSIS OF AMBER SAMPLES BY LIBS AND CHEMOMETRICS METHODS

## ANÁLISIS DE MUESTRAS DE ÁMBAR POR LIBS Y METODOS QUIMIOMÉTRICOS

T. FLORES<sup>a†</sup>, F. C. ALVIRA<sup>b,c</sup>, A. PONCE<sup>a</sup>, L. PONCE<sup>a</sup>

a) ONTEKO LLC, 9924 Alexander Ridge Dr., Olive Branch 38654, MS, USA; jesusehr@uclv.edu.cu<sup>†</sup>

b) Laboratorio de Bio-Nanotecnología Nacional de Quilmes Bernal, Departamento de Ciencia y Tecnología, Buenos Aires, Argentina

c) Grupo de Biología Estructural y Biotecnología (GBEYB), IMBICE (CONICET CCT-La Plata), Buenos Aires, Argentina

<sup>†</sup> corresponding author

Recibido 18/1/2023; Aceptado 5/4/2023

We analyzed amber samples from the the Baltic region and Mexico, as well as imitation amber, in order to develop an analytical method allowing to discriminate between different samples causing little or no damage. We propose a two-step method that involves the use of Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) to obtain spectra, and Discriminant Analysis to analyze the resulting data. We studied the damage caused to the samples using confocal optical microscopy.

En el presente trabajo se estudian muestras de ámbar del Báltico y de México, así como ámbar de imitación, con el objetivo de desarrollar un método analítico que permita discriminar entre diferentes muestras causando mínimo daño. Para optimizar la identificación se propone un método en tándem, utilizando la técnica LIBS para obtener los espectros, y el Análisis Discriminante para el tratamiento de los datos. Se estudia el daño causado a las muestras por microscopía óptica confocal.

PACS: Lasers (láseres), 42.55.-f; Laser Spectroscopy (espectroscopía láser), 42.62.Fi; Laser applications (aplicaciones del láser), 42.62.-b; Laser ablation (ablación láser), 79.20.Eb

### I. INTRODUCTION

In addition to its intrinsic beauty, amber has been highly appreciated since ancient times, for its use in jewelry and the elaboration of objects of high artistic and decorative value. Amber is the oldest gemstone used in craftsmanship, with red amber being the most appreciated one [1].

In addition, amber is especially important because it commonly contains biological (microorganisms, plant, and animal remains) and non-biological inclusions (bubbles with gaseous, liquid, and sediment contents) that are conserved exceptionally well, showing delicate three-dimensional structures [2].

Amber from various regions can be found in the market: the main producers are the Baltic region, the Dominican Republic, and Mexico. Amber is characterized according to its color, transparency, and origin for commercial purposes. Unfortunately, there is also a wide assortment of amber replicas, based on various colored polymers. For commercial amber, the most common color is yellow, and the most expensive is red [3]. The rarest are those of cognac, green and blue tones. Some pieces contain fossil insects, trapped millions of years ago, being particularly valuable from a scientific point of view [1].

In Mexico, Chiapas is the only state in where amber can be found. Chiapas amber had a special meaning for Meso-American cultures, which used it to make ornaments and funeral offerings. For this reason, it was the subject of intense trade by the indigenous inhabitants of Chiapas, mainly Chontales, Tzotziles, and Zoques, and their destination was, mainly, the Aztec elite [4]. After the Spanish colonization,

many of these museum pieces became part of private collections, while others are in public museums. Chiapas amber has the greatest variety of colors and hues, which is why it is the most appreciated worldwide [2,5].

Chiapas amber is the result of polymerization that occurred through millions of years of the resin produced by two species of legume tree, *Hymenaea Mexicana* and *Hymenaea Allendi* [6,7].

Although the amber of the Baltic region has been characterized in detail [8], the same does not occur in the case of amber from Chiapas or in that from the Dominican Republic.

The analytical methods used so far are expensive, destructive, or require time-consuming analysis. In 2003 Vandenabeele et al. [9] analyzed different Copal resins—a type of polymerized tree resin that hasn't been buried for long enough to fossilize into amber—from 6 regions of Mexico using Raman Spectroscopy (RS). They concluded that one of the ways to distinguish Copal depends on the presence of Calcium Carbonate (CaCO<sub>3</sub>). Other research groups have studied amber samples by RS. Brody et al [11] have studied amber by Fourier transform Raman Spectroscopy (FT-Raman spectroscopy). This is one of the most complex and expensive implementations of RS, where the detection system is a Michelson Interferometer. The authors of this research have also analyzed amber samples from several origins, including Mexico, the Baltic region, Poland, and the Dominican Republic. They have investigated the presence of diterpenoids and pimarane skeletons. They concluded that FT-Raman spectroscopy is useful to identify those diterpenoids, but they do not comment about the origin of the samples, nor an attempt of classification is done [12]. Chiang et al [13],

use RS to follow the maturation process of fossilized copal resins; they have used a standard Raman instrument, and in their spectra the fluorescence interference is appreciated. A. Schmidt et al. [14] conducted a thermogravimetric study to classify different types of amber. To determine the age of the resins, and in this way to know if it is amber or Copal, M. Feist et al. [15] in 2007, also performed thermogravimetric analysis. It has the disadvantage of being completely destructive to the sample, which makes its use unfeasible when it comes to the study of pieces of heritage value. Another technique used for the determination of amber origin is fluorescence spectroscopy. This is a non-destructive technique, but as was demonstrated by G. Lopez-Morales et al. [16], the study must be performed carefully, because if the samples are illuminated with a broad-spectrum source, this technique could fail to distinguish the true from the false amber. In addition to that, as the author mentions, glasses, resins and plastics can be easily doped with colorants and nano-particles, which could have similar fluorescent behavior as the true amber, making this technique vulnerable to falsifications.

Considering the variety of origin and diversity of shapes and colors, it is of great importance to have fast and effective methods to identify and characterize amber, both to avoid counterfeiting and to properly assign the heritage or scientific value of a sample.

Within the modern analytical techniques normally used in the characterization and conservation of objects of high added value, laser-induced plasma spectroscopy (LIBS) is increasingly used. LIBS is a type of atomic emission spectroscopy that uses high-energy laser excitation sources and is widely used for the compositional characterization of materials [16]. It has been shown in previous work that the spectra can be considered as a “fingerprint” of the sample material, effectively serving to differentiate between samples of very similar composition, revealing the most subtle differences thanks to the use of chemometric methods [13,17].

In this paper, we study the inorganic composition of amber employing laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) to quickly differentiate amber samples of various origins and colors. In particular, the study analyzed amber samples from Mexico, the Baltic region, as well as fake amber.

## II. MATERIALS AND METHODS

### II.1. LIBS set-up

For the analysis, we used a LIBS instrument, “SLIT-LIBS,” supplied by Onteko LLC (Tampa, United States), which includes a laser that emits in a “burst mode” regime described below. In this device, the laser beam is coupled with the optical path of a slit-lamp microscope for better visualization of samples.

A schematic representation for this setup is shown in Fig. 1. The pulsed (neodymium: yttrium aluminum garnet) Nd:YAG laser emits at a wavelength of 1,064 nm while working in a Q-switch regime, producing light pulses (shots) with an energy of up to 40 mJ at a repetition rate of 1 Hz. A low-power

red laser was used to point where the Nd:YAG laser would impact and ablate the sample and generate the plasma. Each laser shot consisted of a train of three micro pulses, each having a duration of 8 ns and an interval of 10–25  $\mu$ s between them, resulting in an overall shot duration of about 70–80  $\mu$ s. To improve the detection limits, lasers are used in the multi-pulse mode for which each laser shot generates a pulse train (for a detailed description of those lasers, see ref. [14,18]). Thanks to a time-delay device, the spectrometer starts reading the signal 2  $\mu$ s after the laser impacts the sample, providing sufficient time to avoid the capture of undesirable emissions from the electrons in the plasma of the first pulse, which, as is widely known, does not provide elementary information and has a lifetime of about 500 ns.

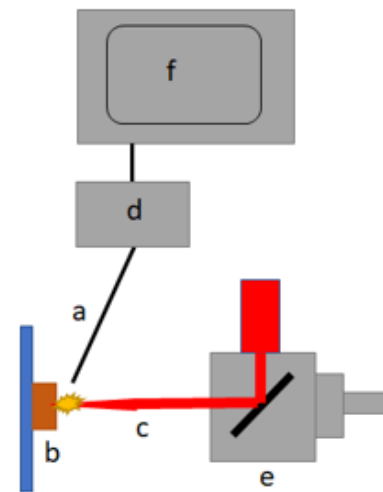


Figure 1. LIBS experimental set-up: a- detector, b- sample, c- laser beam, d- spectrometer, e- microscope, f- computer.

Since each acquired signal is the result of the sum of the three pulses, this setup can indeed remove only the electronic noise caused by the first pulse. As the spectrometer acquisition time is 3.8 ms long, both the signal and electronic noise from the subsequent pulses are also captured. The reduction of the Bremsstrahlung is related to the fact that all the samples have a thin layer of dirt. So, the first pulse makes a kind of “laser cleaning”, and the second and third pulses find a clean surface to ablate. Since the radiation of the electrons generated during the first pulse is avoided, this improves the quality of the signal spectra. But as our experimental results show, the signal to noise ratio is good enough to provide a clear and intense signal.

The laser beam was focalized using a 50 mm focal length lens which produced a 40  $\mu$ m diameter target on the samples. The laser ablation process induced the emission of light which was collected by an optical fiber and delivered to a Czerny–Turner spectrometer (OceanOptics USB4000) with a linear CCD as a detector. The spectral resolution of the system is 0.3 nm with a spectral range of 200–800 nm.

Next, the acquisition, storage, and analysis of the plasma spectral data acquired by the spectrometer are carried out. This information is supplied to a laptop using a USB port,

where the information is processed using the spectrometer software to visualize the plasma intensity profile as a function of wavelength. Also, the laptop can be programmed to identify the elementary composition of the sample through comparative analysis with known spectral profiles that are stored either on the computer or accessed, for example, through an internet link to a remote database.

## II.2. Confocal microscopy

To observe the morphology and dimensions of the crater that occurs when a laser pulse strikes the sample, a confocal laser scanning microscope Olympus Model OLS5000 3D Measuring Laser Microscope was used.

## II.3. Samples

The samples under study can be categorized into three groups. The first group consists of Mexican amber samples of two shades: Honey amber and Yellow amber. These samples were supplied and certified by the amber museum of Chiapas (group 1). The second group consists of certified Baltic samples with two different shades: honey amber cognac and yellow amber (group 2). The third group consists of replicas made of plastics, imitating the colors honey and yellow. They are of Chinese origin and acquired in the Amazon online store (group 3). We will call them "fake amber". See Table 3 for more details.

All the samples were prepared as pieces of 1 × 1 cm and 1 mm thickness and were polished. The sample area was enough to accommodate 50 laser pulses, each of them removing material from a 0.1 mm diameter spot.

## II.4. Statistical analysis

The data was processed mathematically to be able to make groups according to their differences. In order to achieve this, all the spectral data were normalized with a maximum value of 1 for each spectrum. Due to the high resolution of the spectrometer, each spectra capture file is composed of 3648 wavelengths with their corresponding intensities. The size of these datasets implied a cumbersome processing, so they were downscaled from 3648 spectral channels to 174 by averaging segments of 20 channels into a single value. From this reduced dataset, the 20 points of the spectrum with the highest standard deviation for each amber category were selected as variables for a Discriminant Analysis (DA) [19]. After an initial approach with Linear Discriminant Analysis, a Box test indicated that the covariance matrix differed between some of the groups, so Quadratic Discriminant Analysis was used instead.

## III. RESULTS AND DISCUSSIONS

### III.1. LIBS Experiments

Each LIBS spectrum shown in Fig. 2, which corresponds to the different shades, is the average of 50 evaluations performed per sample. In the LIBS analysis of the Chiapas amber samples, we identify the presence of Na, Al, Ca, Sr, Fe, Cr, Mg, Ni, Cl, in addition to H, N, and CN bands. The last ones are associated with the air atmosphere. We found that the yellow samples do not show Fe emission lines, while for the rest of them, the main differences are in the intensities of the emission lines. Moreover, the darker samples have a lower intensity of Na and Al relative to the light ones. The opposite occurs for the Ca emission lines, that are higher in the lighter samples. In the Baltic amber as well as in the false amber, no Ca emission lines are visible, but Fe and Mg emission lines are appreciated. In the case of false amber, the 611.4 nm Cl line is always present.

Table 1. Samples description.

Groups	Origin	Shade	Number of samples	Spectra per sample
I	Chiapas	Honey	5	50
		Yellow	5	50
II	Baltic	Honey	5	50
		Yellow	5	50
III	FALSE	Honey	5	50
		Yellow	5	50

These spectral differences can be used to perform DA analysis and identify spectral differences between similar sample types with minor impurities.

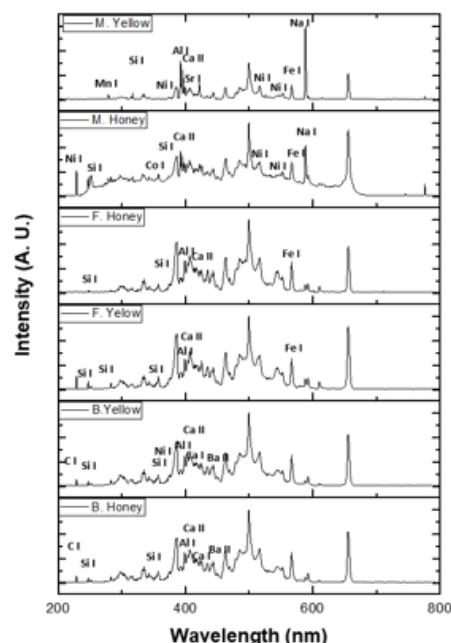


Figure 2. Average LIBS Spectra of all the samples under study.



### III.2. Confocal Microscopy

To get an accurate knowledge of the damage caused in the samples to get the information, we studied the ablation effects by Confocal Microscopy. Fig. 3 shows an image captured by the confocal microscope, showing a cone-like crater.

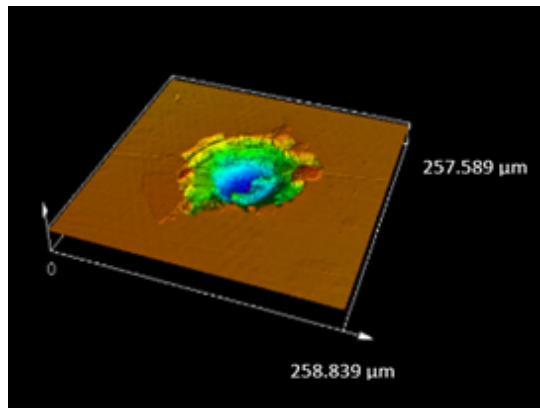


Figure 3. Crater image captured by Confocal Microscope at 50X magnification.

The laser pulse, upon impact on the surface, extracts the material from the first tens of microns, involving a very small volume of material. The volume extracted was calculated by approximating the geometry of the crater to a truncated cone with an upper radius of  $58.5 \mu\text{m}$  and a lower radius of  $16.0 \mu\text{m}$ , the measured height being  $42.2 \mu\text{m}$ . The resulting volume was calculated as approximately  $179 \mu\text{m}^3$ . These dimensions are below what is usually possible to see with the naked eye, which further supports the idea that LIBS could be used to detect the origin of valuable amber pieces without diminishing their value.

In some areas of the surface adjacent to the crater, defects are observed that could have been induced by the pressure generated below the surface due to the penetration of the laser into a relatively transparent material such as amber. Fig. 4 shows a sub-surface crater in the sample and the associated LIBS spectrum obtained. Let us compare those results with standard methods employed to acquire the same information.

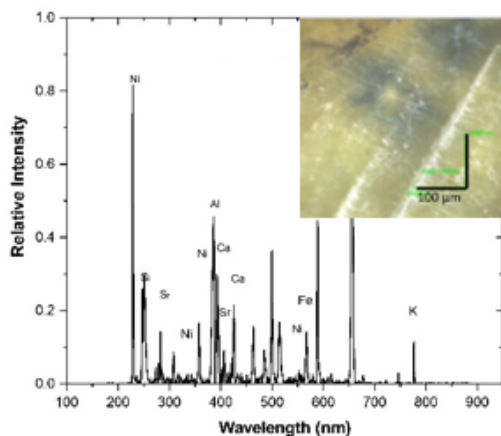


Figure 4. LIBS spectrum of a subsurface crater. Inset: sample region where the spectrum was acquired.

We underline that the standard atomic emission methods require the extraction of a tiny portion of the sample, and the dissolution in the acid of this portion. So, the damage generated by LIBS compared with standard analysis techniques is negligible.

### III.3. Chemometrics analysis

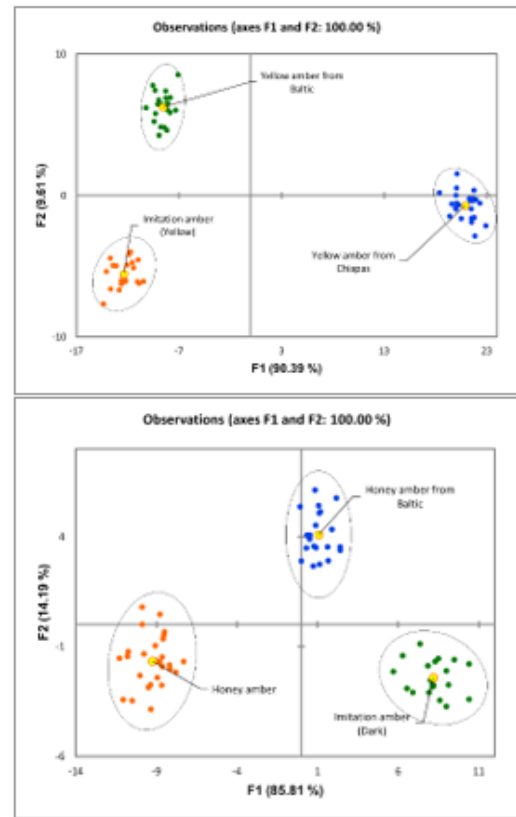


Figure 5. Differentiation between the various amber samples using Discriminant Analysis [19].

The identification of each type of amber is not evident by a straightforward study of the spectral information. In order to classify the samples, we analyzed the spectral data using Discriminant Analysis (DA) [19]. This is a classical statistical technique usually applied not only to LIBS analysis but to several other spectroscopic techniques. The algorithms used to implement DA can be implemented in standard personal computers. Thus, it seems to be an adequate candidate to process the spectral information to classify the amber samples. The algorithms successfully discriminated between different types of amber, as can be seen in Fig. 5. The most valuable result shown is the capacity of the LIBS-DA tandem techniques to differentiate the imitation samples of amber from original samples coming from the Baltic Sea and Chiapas. Fig. 6 (connected to the data presented in Table 2) presents a loading plot that provides valuable insights into the relationship between the 20 intensity variables selected and the two main functions in our discriminant analysis (DA). The plot shows how the variables contribute to the splitting into

two groups and helps identifying which variables are the most relevant for distinguishing between the groups. Specifically, the plot illustrates the correlation between each variable and the two main functions in the DA, with the magnitude and direction of each arrow representing the strength and direction of the correlation, respectively.

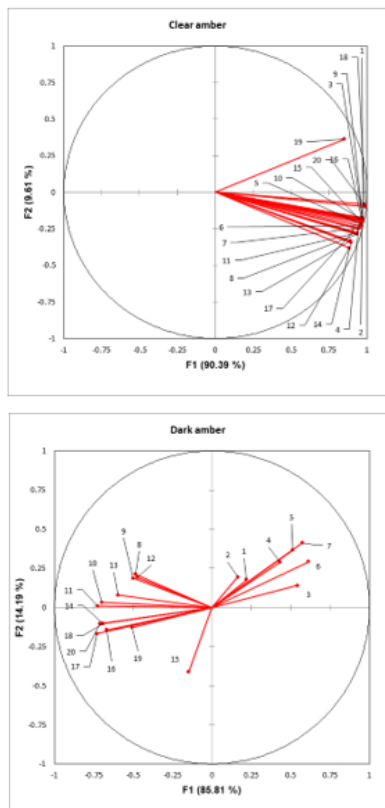


Figure 6. Loading plot detailing how the 20 intensity variables selected relate with the two main functions in the DA.

Table 2. Wavelengths of the intensity variables shown in Fig. 6.

Id.	Wavelength (nm)
1	383.9
2	388.3
3	405.5
4	490.5
5	494.7
6	498.9
7	503.1
8	528.1
9	532.2
10	557.0
11	561.1
12	565.2
13	569.3
14	573.4
15	589.6
16	593.7
17	649.8
18	653.7
19	657.7
20	661.6

We have shown that the LIBS technique can be used to obtain a general characterization of amber without causing excessive damage to the sample. By analyzing the main elements present in Chiapas amber, we were able to identify markers that can be used in a statistical system to determine authenticity, which is consistent with the type of soil found in the Simojovel mining area where the Chiapas samples were extracted. These elements include Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, Co, Ni, Mg, and Mn. Through the selection of specific spectral regions for these main elements and the use of different colors to represent each group, we were able to clearly distinguish between different types of amber based on their composition.

#### IV. CONCLUSIONS

Our results show that the use of LIBS with DA treatment for spectral analysis allows for accurate and rapid identification and discrimination of Mexican amber, Baltic amber, and false amber. The chemometrics techniques used in this study were found to be an effective and reliable tool for analyzing complex organic samples. Moreover, without any prior knowledge of the concentration of inorganic elements or other information about the samples, the proposed technique was able to accurately classify the samples based solely on the LIBS spectra. Overall, our results demonstrate the usefulness of the LIBS technique paired with multivariate analysis for the analysis and classification of amber samples.

#### ACKNOWLEDGMENTS

FCA is grateful with "Centro Latino-americano de Física" (CLAF) for the postdoctoral fellow received. FCA is researcher from CONICET.

#### REFERENCES

- [1] J. C. Cruz-Ocampo, C. Canet, D. Peña-García, *Boletín Soc. Geol. Mexicana* **59**, 9 (2007).
- [2] E.Y.T. DE PRUEBA, PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-152-SCFI-2018, *Ámbar de Chiapas-Especificaciones y métodos de prueba* (cancelará a la NOM-152-SCFI-2003).
- [3] F. P. Zepeda, *Cadena productiva del ámbar en Chiapas, México, Lacandonia* **3**, 69 (2017).
- [4] C. Ytuarte-Núñez. *Nueva antropología* **22**, 11-31 (2009).
- [5] T. P. Suárez, *El ámbar en Chiapas y su distribución en Mesoamérica, Estudios de cultura maya* **26**, 178 (2005), Recuperado en 09 julio de 2023 de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S0185-25742005000100010&lng=es&tlng=es>
- [6] L. Calvillo-Canadell, S.R. Cevallos-Ferriz, L. Rico-Arce, *Rev. of Palaeobotany and Palynology* **160**, 126 (2010).
- [7] T. Pérez Suárez. *Estudios de cultura maya* **26**, 178 (2005).
- [8] L. Aquilina, V. Girard, O. Henin, M. Bouhnik-Le Coz, D. Vilbert, V. Perrichot, D. Néraudeau, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **369**, 220 (2013).
- [9] P. Vandenabeele, D.M. Grimaldi, H.G. Edwards, L. Moens, *Spectrochim. Acta-A: Mol. Biomol. Spectrosc.* **59**, 2221 (2003).

- [10] Vicerrectorado de Investigaciones y Posgrado, UCLV, Reportes de aplicación 1985-1990.
- [11] R. H. Brody, H. G. M. Edwards, A. M. Pollard, *Spectrochim. Acta-A: Mol. Biomol. Spectrosc.* **57**, 1325 (2001).
- [12] G. Poinar Jr, A. E. Brown, *Bot. J. of the Linnean Soc.* **139**, 125 (2002).
- [13] H. P. Chiang, B. Mou, K. Li, P. Chiang, D. Wang, S. Lin, W. Tse, *J. Raman Spectrosc.* **32**, 53 (2001).
- [14] A. R. Schmidt, S. Jancke, E. E. Lindquist, E. Ragazzi, G. Roghi, P. C. Nascimbene, K. Schmidt, T. Wappler, D. A. Grimaldi, *PNAS* **109**, 14796 (2012).
- [15] M. Feist, I. Lamprecht, F. Müller, *Thermochim. Acta* **458**, 162 (2007).
- [16] G. López-Morales, R. Espinosa-Luna, C. Frausto-Reyes. *Rev. Mex. Fis.* **60**, 217 (2014).
- [17] F. C. Alvira, T. Flores Reyes, L. Ponce Cabrera, L. Moreira Osorio, Z. Perez Baez, G. Vazquez Bautista, *Appl. Opt.* **54**, 4453 (2015).
- [18] F. C. Alvira, G. M. Bilmes, T. Flores, L. Ponce, *Appl. Spectrosc.* **69**, 1205 (2015).
- [19] G. Vítková, L. Prokeš, K. Novotný, P. Pořízka, J. Novotný, D. Všianský, L. Čelko, J. Kaiser, *Spectrochim. Acta-B: Atom. Spectrosc.* **101**, 191 (2014).

Table 3. Detailed description of the spectroscopic signal shown in Fig. 2.

Element	I (nm)	M. Yellow	Y. Baltic	F. Yellow	M. Honey	B. Honey	F. Honey
Ni I	231.7	x	-	-	x	-	-
Ni I	232	x	-	-	x	-	-
Si I	250.6	x	x	x	x	x	x
Mn I	279.8	-	x	-	-	x	-
Co I	358	-	-	-	x	-	-
Sr I	407.7	x	-	-	x	-	-
Co I	384.5	-	-	-	x	-	-
Co I	399.5	-	-	-	x	-	-
Si I	385.7	x	x	x	x	x	x
Ni I	385.8	x	-	-	-	x	-
Ca II	393.36	x	x	x	x	x	x
Al I	394.4	x	x	x	x	x	x
Al I	396.1	x	x	x	x	x	x
Ca II	396.84	x	x	x	x	x	x
Sr II	405	x					
Ca I	422.67	x	x	x	x	x	x
Ca I	430.25	x	x	x	x	x	x
Ca I	443.57	x	x	x	x	x	x
Ba II	455.4		x			x	
Ba II	493.4	-	x		-	x	
H $\beta$	486.1	x	x	x	x	x	x
N I	500.5	x	x	x	x	x	x
Ni I	508	x	-	-	-	x	-
Ni I	558.9	x	-	-	-	x	*
Fe I	567.9	x	x	x			x
Na I	588.99	x	-	-	x	-	-
Na I	589.59	x	-	-	x	-	-
N I	648.53	x	x			x	x
H $\alpha$	656.3	x	x	x	x	x	x
Li I	670.79	x				x	
N I	742.4		x	x	x	x	x
N I	744.2						x
N I	746.83		x	x	x	x	x
K II	766.49	x	x	x		x	
K I	769.89	x				x	
O I	777.2	x	x	x	x	x	x
Ni I	231.7	x	-	-	x	-	-
Ni I	232	x	-	-	x	-	-

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.



# INTRODUCCIÓN AL FILTRO DE KALMAN A TRAVÉS DE LA FÍSICA EXPERIMENTAL

## INTRODUCTION TO THE KALMAN FILTER THROUGH EXPERIMENTAL PHYSICS

L. A. RODRÍGUEZ-DE-TORNER<sup>a,b†</sup>, G. SÁNCHEZ-COLINA<sup>b</sup>

a) Grupo de Sistemas Complejos y Física Estadística, Facultad de Física, Universidad de la Habana, Cuba; abel@estudiantes.fisica.uh.cu<sup>†</sup>

b) Departamento de Física General, Facultad de Física, Universidad de la Habana, Cuba

† autor para la correspondencia

Recibido 25/1/2023; Aceptado 10/5/2023

En este trabajo, se propone un sencillo experimento para introducir a estudiantes de pregrado en ciencias básicas e ingenierías, al filtro de Kalman. Consiste en el estudio de la caída libre de un paraguas equipado con un teléfono móvil desde una altura de algunos metros. Utilizando los datos aportados por el acelerómetro incluido en el teléfono, se demuestra que el uso del filtro de Kalman permite hallar la velocidad terminal sin la necesidad de realizar múltiples repeticiones del experimento. Se analizan tres métodos para hallar la matriz de covarianzas del vector de control, y se comparan sus resultados.

This paper aims at introducing the Kalman's filter to science and engineering undergraduate students by means of a simple experiment. It consists in the free fall of an umbrella equipped with a mobile phone from a height of a few-meters. Using the data provided by the accelerometer embedded in the phone, it is shown that the use of the Kalman filter allows determining the terminal velocity without the need of performing multiple repetitions of the experiment. Three methods for finding the covariance matrix of the control vector are tested, and their results are compared.

PACS: Physics education (Eduación en física), 01.40.-d; Demonstration experiments in physics education (Experimentos demostrativos en la enseñanza de la física), 01.50.My; Motion sensors (Sensores de movimiento), 07.07.Df; classical mechanics of continuous media (Mecánica clásica de los medios continuos), 83.10.Ff.

### I. INTRODUCCIÓN

El filtro de Kalman es un algoritmo recursivo que, tomando como fuentes de información un modelo lineal de un sistema y las mediciones del vector de variables del modelo, permite establecer el valor más probable de un vector de variables aleatorias obtenido a partir de ellas [1–4].

Desde su planteamiento por R. Kalman en 1960 [3], su uso ha sido muy difundido en la predicción del comportamiento de magnitudes de variables aleatorias de sistemas dinámicos; la evolución temporal de sistemas económicos mediante estudio de series temporales y econometría; el procesamiento de señales; y el control automático y la identificación de sistemas [5,6]. Sin embargo, el filtro de Kalman es rara vez introducido en cursos de pregrado.

Es un método conceptualmente sencillo y puede ser empleado en sistemas continuos o discretos siempre que sean lineales. La idea es proponer para las variables de estado del modelo de sistema unos valores a priori (partiendo de criterios basados en datos experimentales, la lógica y la experiencia) y asignar un nuevo valor (actualización a posteriori) a estas variables comparándolos con la información obtenida de la observación (sensores, u otras fuentes) mediante un factor de ponderación de la verosimilitud de ambas (ganancia de Kalman).

La actualización del vector de estado y las mediciones parten de la evaluación de sus funciones de distribución de probabilidad (PDF), siendo el cálculo de los valores medios y las varianzas la clave del algoritmo, no el cálculo de los valores en sí. Esto permite el uso de fuentes con una

gran incertidumbre (valores desconocidos y ruidosos). La combinación de estas funciones produce otras nuevas con menor varianza en la medida que el filtro converge.

De esto se deduce una segunda condicionante para la aplicación del filtro de Kalman, las funciones de distribución de probabilidades de las fuentes deben ser normales (gaussianas).

Dada su recursividad el algoritmo se auto sintoniza en cada iteración, aun cuando no se cumplan plenamente los requisitos de linealidad o normalidad; generalmente el resultado es óptimo o al menos mejora la condición del sistema. En otras palabras, para sistemas no lineales y no gaussianos, el filtro Kalman es el estimador lineal óptimo, aunque otros estimadores no lineales pueden ser mejores [20].

Una ventaja de significativa relevancia del filtro de Kalman es que, al combinar las mediciones realizadas con un modelo, no es necesario asegurar la repetibilidad de los experimentos, pues con una sola ejecución experimental, aplicando el algoritmo del filtro de Kalman, se obtienen valores medios con sus respectivas matrices de covarianzas, lo que incluye en manejo de las incertidumbres.

Se propone demostrar el uso del filtro de Kalman mediante la determinación de la velocidad límite de un paraguas que es lanzado desde una altura superior a 15 m al que se le incorporó un celular como instrumento para medir la aceleración del sistema. Debido a que se trata de un experimento de Física General, creemos que resulta asequible para estudiantes de pregrado de ciencias básicas y de

ingeniería. Una ganancia adicional es que, al sustentarse en un experimento relativamente espectacular, resulta muy atractivo para actividades de extensión universitaria y popularización de la ciencia, aunque en este caso no se explique el uso del filtro en detalle.

## II. FILTRO DE KALMAN PARA SISTEMAS DINÁMICOS LINEALES DE TIEMPO DISCRETO

Los sistemas dinámicos lineales de tiempo discreto son aquellos que se pueden modelar mediante:

$$x(t+1) = F(t) \cdot x(t) + G(t) \cdot u(t) \quad (1)$$

$$z(t) = H(t) \cdot x(t) \quad (2)$$

donde  $x(t+1)$  representa el vector de variables aleatorias del estado actual del sistema, a cuya distribución de probabilidad  $Pr[x(t+1)]$  denominaremos distribución de probabilidad a posteriori;  $x(t)$  representa el vector de variables aleatorias del estado anterior del sistema, cuya distribución de probabilidad  $Pr[x(t)]$  se denomina *distribución de probabilidad a priori*, y cuya matriz de covarianzas es  $P(t)$ ;  $F(t)$  es la matriz de estado del sistema;  $G(t)$  es la matriz de entrada del sistema;  $u(t)$  es el vector de control del agente externo, con  $E[u(t)] = 0$  y cuya matriz de covarianzas es  $E[u(t) \cdot u(s)^T] = \delta_{st} \cdot Q(t)$ ; y  $z(t) = z$  es el vector de medición, que se relaciona con el vector estado mediante una transformación lineal  $H(t) = H$ , es generado por la función de verosimilitud y su matriz de covarianzas está determinada por  $E[z(t) \cdot z(s)^T] = \delta_{st} \cdot R(t) = R$  [1-3, 10, 11].

La aplicación del algoritmo del filtro de Kalman es factible siempre que la función de densidad de probabilidad de los valores de las variables se pueda asumir como normal y que el ruido correspondiente a los procesos de medición sea también gaussiano [1-4]. Haciendo uso del Teorema de Bayes para distribuciones de probabilidad, con el producto de la verosimilitud por la distribución a priori se obtiene el valor en el que la distribución a posteriori se maximiza [12]. El algoritmo del filtro de Kalman se puede plantear tanto para sistemas lineales continuos como de tiempo discreto:

1. Partiendo de las condiciones iniciales, el estado del sistema en el instante anterior  $x(t)$  y su matriz de covarianza  $P(t)$ , se halla el estado del sistema de acuerdo al modelo:

$$x_B(t+1) = x_B = F(t) \cdot x(t) + G(t) \cdot u(t) \quad (3)$$

y su matriz de covarianzas:

$$P_B(t+1) = P_B = F(t) \cdot P(t) + G(t) \cdot u(t) \quad (4)$$

2. Se introducen las mediciones del estado actual del sistema  $z(t)$ , y se determina la ganancia de Kalman:

$$K_G = P_B \cdot H^T [H \cdot P_B \cdot H^T + R]^{-1} \quad (5)$$

3. Se combinan ambas fuentes de información, modelo (distribución a priori) y mediciones (función de verosimilitud), para dar el valor más probable del estado del sistema (maximizando la distribución a posteriori):

$$x_A = x_B + K_G(z - Hx_B) \quad (6)$$

y obteniendo su matriz de covarianzas:

$$P_A = P_B - K_G \cdot H \cdot P_B \quad (7)$$

4. Los valores obtenidos del vector del estado actual del sistema y su matriz de covarianzas se convierten en el vector del estado anterior del sistema y su matriz de covarianzas, para dar lugar a una nueva iteración del filtro [1-3, 10, 11].

## III. EL EXPERIMENTO

El montaje experimental consiste en un paraguas con un teléfono inteligente que se dejó caer desde el cuarto piso del edificio de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana para medir mediante los acelerómetros, la aceleración durante la caída (Fig. 1).

Para modelar el sistema se asume que solamente actúan la fuerza de gravedad y la fricción con el aire, cuyo régimen se determina cuadrático. Esto último se adopta debido a la baja velocidad cinética del aire, lo que implica que el número de Reynolds sea superior a 18 000 y predomine un régimen turbulento [21-23].



Figura 1. Caída del sistema paraguas-celular durante los últimos 3.0 metros de su trayectoria.

Aplicando la segunda Ley del movimiento mecánico en una dimensión se tiene que:

$$m \cdot g - \beta v^2 = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (8)$$

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales, planteamos:

$$\int_0^t dt = \frac{m}{\beta} \int_0^v \frac{dv}{\frac{m \cdot g}{\beta} - v^2} \quad (9)$$

de donde se obtiene:

$$v = \sqrt{\frac{m \cdot g}{\beta}} \tanh^2\left(\sqrt{\frac{\beta \cdot g}{m}} t\right) \quad (10)$$

Sustituyendo la expresión de la velocidad límite se llega a:

$$v = v_l \tanh^2\left(\frac{g}{v_l} t\right) \quad (11)$$

A partir de los valores de la masa del sistema, el área y forma de la sección frontal del paraguas y de la temperatura del aire, se determinó que  $g/v_l = 7.8s^{-1}$  [13]. Esta relación permite linealizar la ecuación del modelo, a partir de un cambio de variable  $l = \tanh^2(7.8s^{-1} \cdot t)$ , y asumiendo la condición de que la velocidad límite es alcanzada cuando  $v = 0.94 \cdot v_l$ , determinada a partir de la resolución del sensor del celular [14], llegándose a la ecuación del modelo:

$$a(l+1) = a(l) - g \cdot \Delta l \quad (12)$$

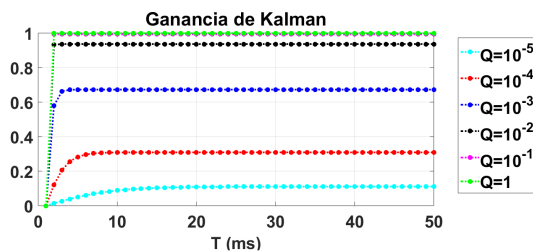


Figura 2. Curvas del resultado de la simulación para calcular la varianza.

Volviendo a aplicar este procedimiento, se logra un valor óptimo para la varianza de  $Q = 3.62 \cdot 10^{-3} m^2/s^4$ . En la Fig. 3 es evidente como con este valor convergen rápidamente la ganancia de Kalman, al valor óptimo  $\lim_{l \rightarrow \infty} KG = 0.500$ , y la matriz de covarianzas del estado del sistema, a la varianza del vector de control  $\lim_{l \rightarrow \infty} P(l) = Q$ .

Otro procedimiento, cuando se conoce parcialmente la matriz de covarianza y se sabe que su valor es pequeño, consiste en asignar aleatoriamente valores próximos a cero en la matriz de covarianzas y analizar la convergencia de la ganancia de Kalman y la varianza del vector del estado actual del sistema aplicando el algoritmo. En la Fig. 4 se muestra el resultado

de este método asignado  $Q = 8.5 \cdot 10^{-5} m^2/s^4$ , dando como resultado que  $\lim_{l \rightarrow \infty} KG = 0.289$  y  $\lim_{l \rightarrow \infty} P(l) = 2.5 \cdot Q$ .

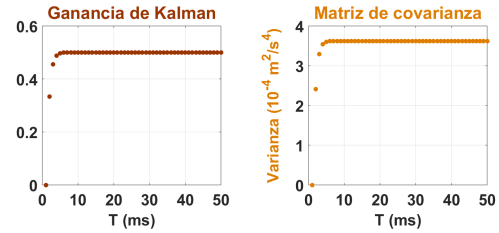


Figura 3. Comportamiento de la ganancia de Kalman y la varianza del vector del estado actual del sistema durante la ejecución del algoritmo del filtro de Kalman en su máximo rendimiento.

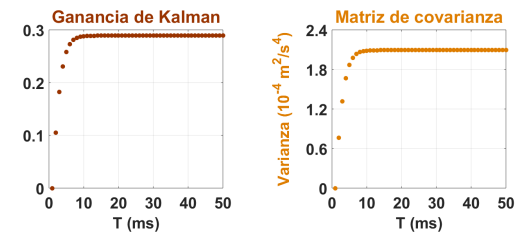


Figura 4. Comportamiento de la ganancia de Kalman y la varianza del vector del estado actual del sistema con  $Q = 8.5 \cdot 10^{-5} m^2/s^4$ .

El más fácil de los casos es cuando se conoce la matriz de covarianzas del vector de control. En nuestro montaje experimental tenemos que la aceleración de la gravedad  $g = (9.786 \pm 0.0006) m/s^2$  [19]. En la Fig. 5 se muestra el comportamiento de los principales parámetros para este valor de varianza, donde se tiene que  $\lim_{l \rightarrow \infty} KG = 0.200$ , y  $\lim_{l \rightarrow \infty} P(l) = 4.0 \cdot Q$ .

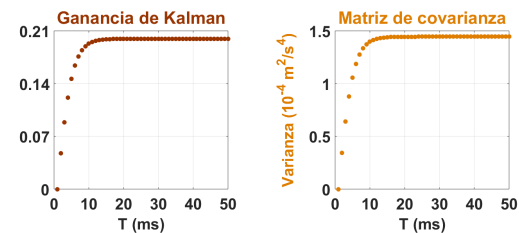


Figura 5. Comportamiento de la ganancia de Kalman y la varianza del vector del estado actual del sistema con  $Q = 3.6 \cdot 10^{-5} m^2/s^4$ .

A pesar de las diferencias en los límites de convergencia de la ganancia de Kalman y la varianza del vector del estado actual del sistema para cada uno de los procedimientos aplicados, no encontramos una diferencia apreciable en los resultados; como mostramos en la Fig. 6. Todos los resultados del estado actual del sistema se encuentran entre los valores esperados según el modelo y las mediciones del sistema, lo que demuestra la

efectividad del algoritmo.

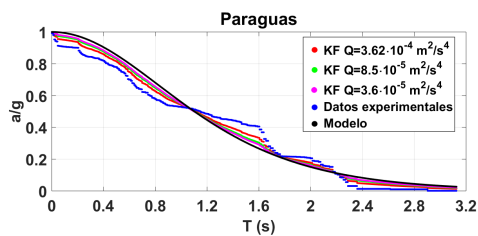


Figura 6. Tres implementaciones del algoritmo del filtro de Kalman

Como condición de haber alcanzado la velocidad límite se usó  $v = 0.94 \cdot v_l$  en las tres implementaciones del algoritmo del filtro de Kalman. Los resultados son mostrados en la Tabla 1:

Tabla 1. Determinación de la velocidad límite

Q(m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup> )	Tl(s)	vl(m/s)
$3.62 \cdot 10^{-3}$	$2.13 \mp 0.01$	$1.26 \mp 0.01$
$8.5 \cdot 10^{-5}$	$2.19 \mp 0.01$	$1.232 \mp 0.008$
$3.6 \cdot 10^{-5}$	$2.17 \mp 0.01$	$1.224 \mp 0.007$

Se puede observar que al llegar al valor óptimo de la varianza el algoritmo converge con mayor rapidez, pero no aumenta la precisión del resultado, efecto que si ocurre cuando se minimiza el valor de la matriz de covarianzas del vector de control.

La implementación usada del algoritmo de Kalman se puede observar a continuación:

```

for k=2:(length(L))
for i=1:3
Am(i,k) = M(i,k-1)-g*dL(i,k-1);
%actualización de la eq. 12
Pb(i,k)=Pb(i,k-1)+Q(i);
%actualización de la eq. 4
KG(i,k)=Pb(i,k)/(Pb(i,k)+R)
%actualización de la eq. 5
Aa(i,k)=Am(i,k)+KG(i,k).*(AA(i,k)-Am(i,k));
%actualización de la eq. 6
Pa(i,k)=(1-KG(i,k))*Pb(i,k);
%actualización de la eq. 7
Pb(i,k)=Pa(i,k);
%transformación del estado a posteriori al estado a priori
end
end

```

Entre las ventajas más inmediatas que posee el filtro de Kalman para introducción en cursos de pregrado es que las herramientas necesarias para comprenderlo e implementarlo son, por lo general, dadas en los primeros años de las carreras de ciencias o ingenierías, como son programación, cálculo

diferencial e integral, ecuaciones diferenciales ordinarias de primer o segundo orden y probabilidades. Experiencias sobre ello se aprecian en [7, 8].

Al obtenerse la distribución a posteriori, como el producto de la verosimilitud por la distribución a priori, hecho que maximiza la distribución a posteriori y minimiza su matriz de covarianzas [2,3,12], y realizarse el manejo de los datos a partir de los vectores de valores medios y sus respectivas matrices de covarianzas, se está incluyendo en el procesamiento de los datos en análisis de las incertidumbres de las mediciones.

Al no ser necesaria la repetibilidad de los experimentos al aplicar el filtro de Kalman a un montaje experimental para reportar los resultados, permite su aplicabilidad a problemas que de otra manera solo serían manejados por simulaciones o donde la repetibilidad tuviera altos costos. Este tipo de situaciones complejas no son, por lo general, deseables en ambientes de enseñanza, en donde se tratan habitualmente montajes experimentales simples.

#### IV. CONCLUSIONES

El filtro Kalman permite aumentar la precisión en las mediciones y es muy útil en situaciones donde la repetibilidad de los experimentos es muy difícil. El análisis de la rapidez de convergencia del algoritmo es un aspecto esencial que debe dominar quien lo implemente, por lo que debe de especialmente tratado en cursos que trabajen los filtros Kalman. La resolución de problemas experimentales complejos o no repetibles, por la cantidad de parámetros no controlables que pudieran incluir, se acerca más a situaciones que, en ambientes laborales, tendría que resolver profesionales del campo de la ciencia y la ingeniería, razón que muestra su utilidad para estudiantes. En el futuro experimentaremos con otras variantes de filtros Kalman como el filtro Kalman extendido (EKF) y el filtro Kalman "unscented" (UKF), y se mostrarán resultados de su enseñanza.

#### AGRADECIMIENTOS

Damos las gracias a E. Altshuler por la lectura crítica del manuscrito.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Barreto, M. Adjouadi, F. R. Ortega, N. O-larnnithipong, Intuitive Understanding of Kalman Filtering with MATLAB®. (CRC Press, 2021).
- [2] D. Simon, Optimal State Estimation. Kalman, , and Nonlinear Approaches, (John Wiley & Sons, Inc., 2006).
- [3] R. Kalman, J. Basic Eng. **82**, 35 (1960).
- [4] R. Kalman, R. Bucy, J. Basic Eng. **83**, 95 (1961).
- [5] J. Humpherys, P. Redd, J. West, SIAM Rev. **54**, 801 (2012).
- [6] C. Urrea, R. Agramonte, J. of Sens. 2021, 21 (2021).
- [7] G. Hendeby, F. Gustafsson, N. Wahlström, «Teaching Sensor Fusion and Kalman Filtering using a Smartphone», 19th World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC), (2014).



- [8] A. Love, M. Aburdene, R. W. Zarrouk, «Teaching Kalman Filters to undergraduate students», American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, (2019).
- [9] M. B. Rhudy, R. A. Salguero, K. Holappa, *IJCSES* **8**, 1, (2017).
- [10] A. P. Andrews, M. S. Grewal, *Kalman filtering: theory and practice using MATLAB®*, 4th ed. (John Wiley & Sons, Inc., 2015).
- [11] R. Faragher, *IEEE Sig. Proc. Mag.* **29**, 128, (2012).
- [12] J. V. Candy, *Bayesian signal processing: classical, modern, and particle filtering methods*, 2nd ed. (John Wiley & Sons, Inc., 2016).
- [13] M. Kaushik, *Theoretical and Experimental Aerodynamics* (Springer, 2019).
- [14] STMicroelectronics, *LSMDSL iNEMO inertial module: always-on 3D accelerometer and 3D gyroscope Datasheet* (STMicroelectronics, 2017), <https://www.mouser.com/pdfdocs/enDM00237456.pdf>.
- [15] R. R. Labbe Jr, *Kalman and Bayesian Filters in Python*, (2020).
- [16] B. P. Gibbs, *Advanced Kalman Filtering, Least-Squares and modeling: A Practical Handbook*, (John Wiley & Sons, Inc., 2011).
- [17] P. Matisko, V. Havlena, *Int. J. Adapt. Control Signal Process.* **27**, 957 (2013).
- [18] L. Zhang et al., *IEEE Access.* **8**, 59362 (2020).
- [19] H. Borroto, M. Becquer, O. Calzadilla, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **11**, 3305-1 (2017).
- [20] S. Sangsuk-Iam, T. E. Bullock, *IEEE Trans. on Autom. Cont.* **35**, 12 (1990).
- [21] O. Sotolongo, *Elementos de análisis dimensional*, (Editorial Universidad de Almería, 2021).
- [22] Y. A. Çengel, J. M. Cimbala, *Mécanica de Fluidos: fundamentos y aplicaciones*, 4ta ed. (McGraw-Hill Education, 2018).
- [23] J. H. Spurk, N. Aksel, *Fluid Mechanics*, 3rd ed. (Springer, 2020). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30259-7>

---

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.



# MODELING THE NEURAL ACTIVITY OF CAENORHABDITIS ELEGANS THROUGH NEURAL MESSAGE PASSING

## MODELACIÓN DE LA ACTIVIDAD NEURONAL DEL CAENORHABDITIS ELEGANS MEDIANTE ALGORITMOS DE TRASMISIÓN DE MENSAJES

Y. HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ<sup>†</sup>, D. MACHADO AND R. MULET

Centro de Sistemas Complejos, Departamento de Física Aplicada. Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba. yeslaine.hernandez@fisica.uh.cu  
<sup>†</sup> corresponding author

Recibido 8/3/2023; Aceptado 22/6/2023

The great complexity of the human connectome motivates the study of a simpler neural network. For that purpose, the Ising Model was applied on experimental data on the synaptic connectivity of *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) in resting-state, assigning a binary variable (representing active or inactive states) to each neuron in the network. The dynamics of this system is postulated as a message passing network, encoded by the Belief Propagation algorithm (BP) in its criticality region. The inferences of neuronal activity maps were obtained for different times of the nematode's life cycle. We determined the network susceptibilities as a measure of correlations in the system through the Susceptibility Propagation algorithm (SP). Finally, we applied clustering methods to obtain functional clusters and analyze similarities between them and the real functional clusters (sensory, interneurons and motor). All this contributed to the analysis of structure-function relationship in the *C. elegans* neural network.

La gran complejidad del cerebro humano incentiva el estudio de una red neuronal mucho más simple. Para eso, se aplicó el modelo de Ising sobre datos experimentales de la conectividad sináptica del *Caenorhabditis elegans* en estado de reposo, asignándole a cada neurona de la red un comportamiento binario (activo o inactivo). La dinámica de este sistema se postula como una red de transmisión de mensajes dada por el algoritmo Belief Propagation (BP) en su región de criticalidad. Se obtuvieron mapas de inferencia de actividad neuronal para diferentes tiempos del ciclo de vida del nematodo. Además, determinamos las susceptibilidades de la red como medida de las correlaciones del sistema a través del algoritmo Susceptibility Propagation (SP). Finalmente, aplicamos métodos de clustering para inferir módulos funcionales en la red y analizar semejanzas entre estos y los módulos funcionales reales (sensoriales, inter-neuronas y motores). Todo esto contribuyó al análisis de la relación estructura-función en la red neuronal del *C. elegans*.

PACS: Neural networks (redes neurales), 87.18.Sn; Criticality of glass transitions (Criticalidad en transiciones vítreas), 64.70.qj; Ising model (Modelo de Ising), 05.50.+q; Biological complexity (Complejidad biológica), 87.18.-h.

### I. INTRODUCTION

*C. elegans* is a small and transparent nematode worm; just under a millimeter long [1, 2]. Thanks to its simplicity (959 cells, 302 of which are neurons) and its simultaneous complexity (it shares many systems and structures with other complex animals) [3], *C. elegans* has become one of the most used models in neurobiology. Each neuron of the nematode has a specific function assigned [4] and the synaptic connectivity network between these neurons is already known [5].

With this information several studies have attempted to model the neural activity of *C. elegans*, including approaches based on differential equations, agent-based models, and machine learning techniques [6, 7]. However, they often suffer from limitations such as: high computational complexity, difficulty in parameter tuning, and lack of interpretability. In this paper, we propose a novel approach to modeling the neural activity of *C. elegans* using message passing algorithms. Message passing algorithms are a class of algorithms that allow for efficient computation on graph structures, making them well-suited for modeling neural networks.

Our approach starts defining, from the synaptic connectivity matrix, a graph representation of the *C. elegans* neural

network and applying message passing algorithms to simulate the activity of the network as a whole. In practice, we use in the vicinity of the critical point the message passing algorithm, Belief Propagation (BP) to quantify the activity of each neuron in the different phases of the organism's development. We also compute the response function between the different nodes in the network (susceptibilities) using another message passing technique, Susceptibility Propagation [8], as in reference [9]. Finally, we show that the information provided by this response function is a good proxy to classify the functionality of the neurons [10].

### II. METHODS

#### *C. elegans*

Current experimental data about the nematode's nervous system contains information on the births times and spatial coordinates of the 279 neurons. Moreover, it also provides the synaptic connections weights (directed links) assigned to every neural pair [5]. This information is enough to generate direct graphs or networks, at different moments of the evolution of the nematode, where the vertices are the *C. elegans* neurons and the links are encoded by its synaptic connectivity matrix  $J$ .

For example, Fig. 1 is a representation of the actual positions of all the neurons scattered throughout the body of the nematode in its adult state. These neurons are identified by colours, assigned according to the functions they perform in the system. Sensory neurons are shown in red, inter neurons in yellow and motor neurons in blue.

Neurons appear at different times during the whole development of the nematode. This is represented in Fig. 2. There we see that neurons are born mainly in two time stages: one, very short, called embryonic burst; and a larval or embryonic phase larger than the first, that starts with the hatching (840 minutes) and finishes when the nematode becomes an adult worm. As can be seen in the graph, after hatching there is a time interval where neuronal growth stops. This could correspond to a laboratory-induced hibernation phase, where the nematode is able to freeze its metabolic processes.

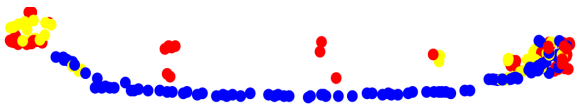


Figure 1. Red-sensory, yellow-inter-neurons, blue-motor. Functional classification of the *C. elegans* neurons according to experimental data for the nematode in its adult state.

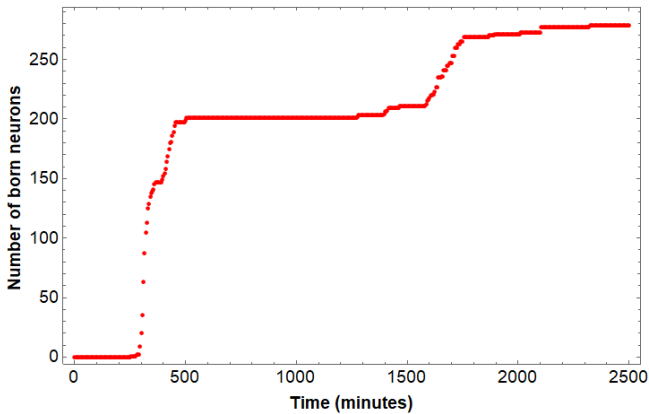


Figure 2. Neurons births during the developmental cycle of *C. elegans*

Notice moreover, that while we have access to the connectivity matrix in the late stage of development of the nematode, this information is not present during the growth of *C. elegans*. Therefore, in what follows we assume that once two neurons are present at time  $t$ , they are connected with the same connectivity strength that the adulthood of the worm. This is a strong assumption during the nematode's development.

### The model

To model the dynamic activity of the *C. elegans* neural network we map it to a binary system of interacting variables in the spirit of the Ising model [9, 11, 12]. Variables have two possible values  $s_i \in \{1, -1\}$  attributed to the electrical activity for each neuron (node)  $i$  of the structural network [9, 10, 13]. In practice,  $s_i = 1$  means that the neuron is "on" or activated and  $s_i = -1$  implies that the neuron is "off" or inactivated. Moreover, every pair of nodes  $(i, j)$  interacts with intensity  $J_{ij}$ , encoded by the synaptic connectivity matrix [5].

In short, for a specific configuration  $\{s_i\}_{i=1, \dots, 279}$  the interaction occurs according to an energy function:

$$H\{s_i\} = - \sum_{i < j} J_{ij} s_i s_j - \sum_i h_i s_i \quad (1)$$

where in general  $h_i$  is the external field on the  $i^{\text{th}}$  spin and represents the presence of an external stimulus. However, in the rest of this work  $h_i$  is set to zero, mimicking the neural activity in the absence of external stimuli. To solve this problem numerically we use Belief Propagation and Susceptibility Propagation, two message passing algorithms that were previously exploited to study the human brain [9].

### Belief Propagation

Message passing algorithms are computationally cheap alternatives of the Monte-Carlo method [14]. One of these efficient algorithms is Belief Propagation (BP). It is easy to program, and known to be exact in random graphs. Here it is employed to infer the stationary values or *beliefs*  $b_i$  of the electrical activity intensity of each neuron  $i$  after convergence [15].

Within this algorithm, we consider that the dynamics of the system is described by the transmission and reception of messages  $m_{ji}$  between the neurons  $(i, j)$ . Therefore,  $m_{ji}(s_i)$  can take values between 0 and 1 and is interpreted as the probability, that according to  $j$ ,  $i$  is in the state  $s_i$ . The probability,  $m_{ji}(s_i)$  depends on the state of node  $i$  ( $s_i$ ), the synaptic connectivity between them ( $J_{ij}$ ) and the messages that  $j$  received from each of its neighbors other than  $i$ :

$$m_{ji}(s_i) = k \sum_{s_j} e^{\beta(J_{ji}s_i s_j + h_j s_j)} \prod_{l \in N(j) \setminus i} m_{lj}(s_l) \quad (2)$$

where  $k$  is a normalization constant,  $h_j$  is the external field over node  $j$  ( $h_j = 0$  for every node in our system),  $N(j) \setminus i$  refers to the set of neighbors of node  $j$ , excluding neighbor  $i$ . The parameter  $\beta$  is the inverse of the temperature  $T$  of the system and is a measure of the noise in the system.

The algorithm consists of iterating the eq. (2) over each edge in the network until the messages converge to a fixed point (the equilibrium configuration). In our case this convergence was achieved when the maximum relative variation of the messages between one iteration cycle and another was lower than  $\delta_{max} = 10^{-7}$ . Once BP converges to the fixed point, the *belief* of each node of the network is obtained. These results constitute the equilibrium values for the probabilities of each neuron to be active or inactive. We then calculate the magnetization  $m_i$  corresponding to each neuron  $i$  by means of the equation  $m_i = b_i(+1) - b_i(-1)$ , a measure of the activity in the system.

### Susceptibility Propagation

Susceptibility Propagation (SP) is an extension of Belief Propagation. It is very useful in the reconstruction of neural networks, when solving the inverse Ising problem. In this

work, it was implemented to solve the direct problem, i.e., to infer the response (or magnetic susceptibilities  $\chi_{ij}$ ) between two nodes ( $i, j$ ).

In short, we start by writing the equations of BP for the messages  $m_{ji}(s_i)$  in an alternative way:

$$m_{ji}(s_i) = q_{ji}(s_i) = k \sum_{s_j} e^{\beta J_{ji} s_i s_j} p_{ji}(s_j), \quad (3)$$

where the messages  $p_{ji}(s_j)$  are defined as those containing the influence of local external fields, as:

$$p_{ji}(s_j) = e^{\beta h_j s_j} \prod_{l \in N(j) \setminus i} q_{lj}(s_j) \quad (4)$$

If we use likelihood logarithmic notation to rewrite the eq. 3 and 4, we have:

$$h_{ij}(s_i) = \frac{1}{2} \log \frac{p_{ij}(+1)}{p_{ij}(-1)} \quad (5)$$

$$u_{ij}(s_i) = \frac{1}{2} \log \frac{q_{ij}(+1)}{q_{ij}(-1)} \quad (6)$$

We define new messages  $g_{ij,k}$  and  $v_{ij,k}$  as the derivatives of  $h_{ij}$  and  $u_{ij}$ , with respect to the local field  $h_j$ :

$$g_{ij,k} = \frac{\partial h_{ij}}{\partial h_k} \quad \text{and} \quad v_{ij,k} = \frac{\partial u_{ij}}{\partial h_k} \quad (7)$$

Then, there are two equations to be iterated:

$$g_{ij,k} = \beta \delta_{ik} + \sum_{l \in N(i) \setminus j} v_{li,k} \quad (8)$$

$$v_{ij,k} = g_{ij,k} \tanh(\beta J_{ij}) \frac{1 - \tanh^2(h_{ij})}{1 - \tanh^2(u_{ij})} \quad (9)$$

Once the messages have converged the susceptibilities of the system are then calculated using:

$$\chi_{ij} = \left( \beta \delta_{ij} + \sum_{l \in N(i)} v_{li,j} \right) (1 - m_i^2) \quad (10)$$

where  $m_i$  is the magnetization computed with BP.

Here the susceptibilities can be interpreted as the influences exerted by the local field acting on a node on the magnetization of other nodes [8]. In this work we were interested in the properties of resting-state network, therefore all the computations were done in the limit of small fields.

### III. RESULTS

Fig. 3 shows the results of calculating, using BP, the average magnetizations of the network for different temperatures, at significant times during the development of the nematode.

The critical temperature is an important parameter in the characterization of the real network. The intuition is that around this region, the neurons have long range correlations and therefore that this is the temperature at which the system works. Far away from the critical temperature either all neurons behave in the same way (high global magnetization,  $m = 1$ ), or they behave randomly (low global magnetization,  $m = 0$ ), in these cases there is no flux of information through the network. Therefore, from now on, we will focus our attention on the behavior of the model near the critical temperature [12].

Fig. 4 shows, in more detail how this critical temperature changes as a function of the actual time at which the neurons are born. One can see some jumps reflecting the abrupt variations in the neuronal birth and also intervals where the function remains constant, during this time intervals the system remains identical (no neurons were born).

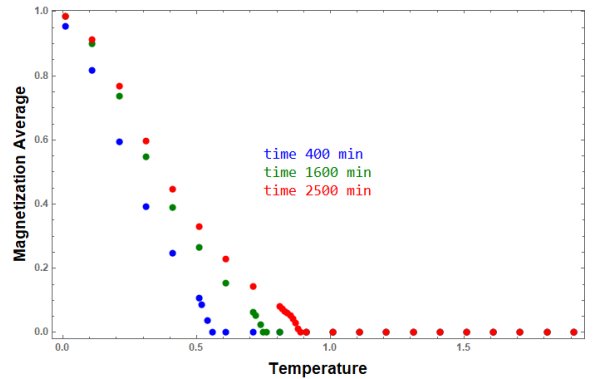


Figure 3. Variation of mean magnetization with temperature at different times of the nematode development cycle.

The information provided by Fig. 3 and 5a suggests that the changes in the critical temperatures are directly related to variations in the number of neurons. Furthermore, the Fig. 5b indicates a nearly linear dependence between these two quantities. This dependence is shown in the graph in 4b.

From now on we concentrate our efforts in studying the resting-state activation map, in adult state, and near  $T_c$  [9, 10]. In Fig. 5 the intensity of the red color indicates how likely it is that the neuron is activated. The neurons colored grey have the lowest magnetizations. This indicates that these neurons can be found on or off indistinctly, since the probability that they assume one of the two states is similar to the probability of finding them in the alternative state.

If we compare this activation maps with their functionality (Fig. 1) we may notice that gray neurons in Fig. 5 seem to

correspond to sensory neurons, that is, to those neurons that in resting state do not have a preferential on or off state.

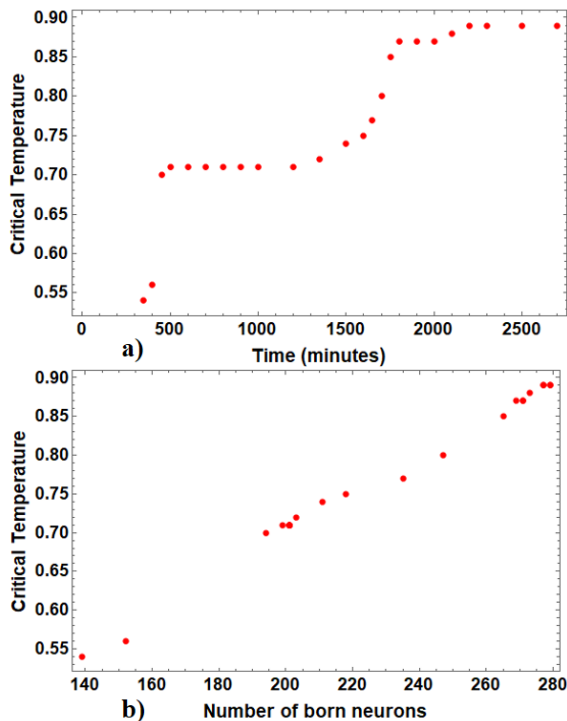


Figure 4. Behavior of critical temperature of *C. elegans* neural network. a). Variation of the critical temperature over time. b) Variation of the critical temperature with the number of born neurons. An approximately linear behavior is observed.

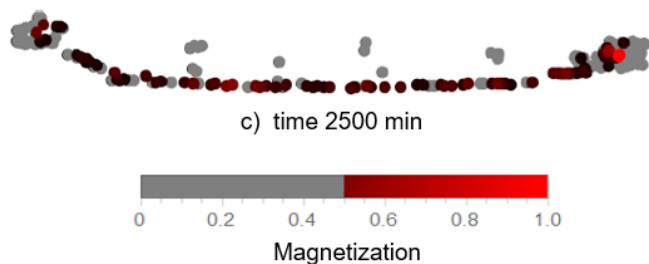


Figure 5. Magnetization of neurons in the neighborhood of critical temperatures for the adult nematode ( $time = 2500 \text{ min}$ ). The intensity of the red color is proportional to the intensity of activation of the neurons.

With this qualitative results the next goal is to infer, from the information of the system, the functional modules in the nematode neural network. To this aim we first run SP and compute the response functions. Then, we perform three different clustering: one where the clusters of neurons were randomly constructed (null hypothesis); another generated from the synaptic connectivity matrix  $J$ , which is associated with the structural network; and a third clustering constructed from the susceptibility matrix of the system  $\chi$ .

The clusterings were obtained using the *greedy\_modularity* function of the Python clustering package. This function is based on the hierarchical clustering algorithm and maximizes the modularity of the network [17]. All the clusterings were performed with the same conditions (same parameters handed to the function). The comparison with the real functional character of the neurons are shown in the similarity matrices represented in figures 6.b and 6.c, respectively.

The similarity matrix obtained from the random clustering (see 6a) shows a remarkable homogeneity. This indicates that the random partitions are not related to the functionality. Logically, a null hypothesis can not provide information about the function in the system. The contrary happens when the clustering is done using  $J$  and  $\chi$ . Both departure from the null hypothesis, but the best coincidence between the clustering and the actual function of the neurons is provided by the clustering made using susceptibilities. In particular, it gives a very good estimate of the sensory and motor communities. This can be seen more directly in Fig. 7 where we assign to the neurons belonging to each cluster the same colour of the analogous community in the true (experimental) clustering: red-sensory, blue-motor and yellow-interneuron. One must notice that the difficulty in predicting the inter-neurons is not surprising, on one hand their functionality is not as well-defined as the one of sensory and motor neurons, on the other, they may well suffer from changes in their functionality during the developmental cycle of the system.

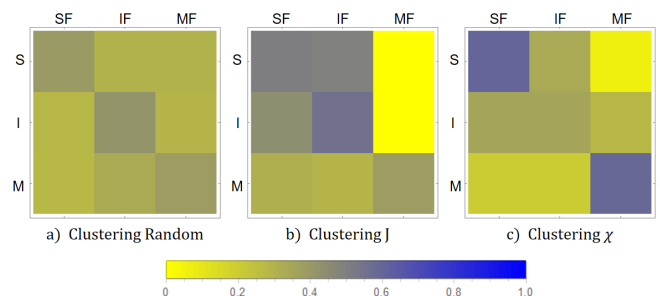


Figure 6. Similarity matrices between real functionality modules and modules found. a) Random choice b) By clustering from  $J$  c) By clustering from  $\chi$ . The rows represent the real modules of functionality and the columns represent the modules found, always sorted into sensory, inter-neuron and motor. The color scale is directly proportional to the number of coincidences between predicted and real partitionings. A blue square in the position  $(i, j)$  of the matrix indicates that the real cluster  $i$  and the "found" cluster  $j$  share a large number of nodes, while a yellow square means the opposite.

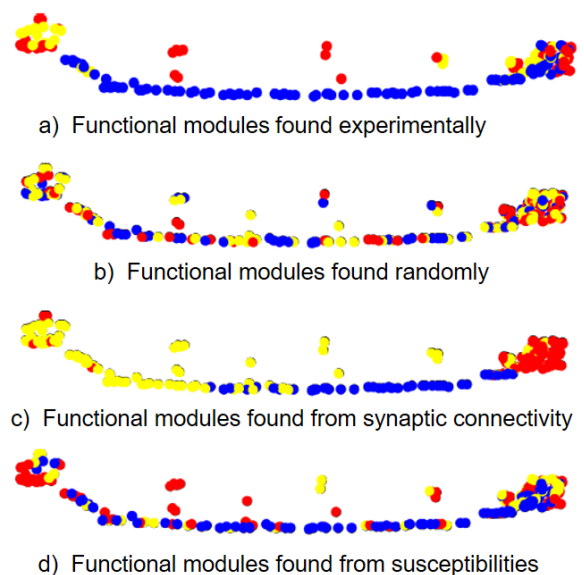


Figure 7. Functional modularity (red-sensory, yellow-inter-neuron, blue-motor) obtained from a) experimental data b) a random distribution c) the structural neural network, encoded by the matrix of synaptic connectivity  $J$  d) the matrix of susceptibilities of the system  $\chi$ .

#### IV. CONCLUSIONS

In this work we modeled the neural activity of the *C. elegans* as binary interacting variables whose dynamics is governed by message passing algorithms. We postulate, as is usual for these systems, that the dynamics occurs at a fixed critical temperature ( $T_c$ ), reflecting the noise in the system.

The results of our simulations suggest that both Belief Propagation and Susceptibility Propagation can be used as proper proxies to describe the functionality of the neurons of *C. elegans*. The results of BP near the critical temperature indicate that in the absence of external stimuli sensory neurons are not activated. Moreover, the clustering obtained from the susceptibilities matrix  $\chi$  computed with SP represents the known functional character of the neurons better than the connectivity matrix.

This work may be extended in various directions. For instance, the same techniques can be used in the presence of external stimuli, and the predictions can be compared with those that could be derived from more realistic dynamics in the nervous system.

#### REFERENCES

- [1] J. G. White, E. Southgate, J. N. Thomson, and S. Brenner, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **314**, 1165 (1986).
- [2] S. Varier, and M. Kaiser, *PLoS Comput. Biol.* **7**, 1 (2011).
- [3] A. Corsi, B. Wightman, and M. Chalfie, *Genetics* **200**, 2 (2015).
- [4] J. M. Gray, J. J. Hill, and C. I. Bargmann, *PNAS* **102**, 9 (2005).
- [5] A. Arnatkeviciūtė, B. D. Fulcher, R. Pockock, and A. Fornito, *PLoS Comput. Biol.* **14**, 2 (2018).
- [6] G. Rätzsch, S. Sonnenburg, J. Srinivasan, H. Witte, K. R. Müller, R. J. Sommer, and B. Schölkopf, *PLoS Comput. Biol.* **3**, 2 (2007).
- [7] T. L. Campos, P. K. Korhonen, P. W. Sternberg, R. B. Gasser, and N. D. Young, *Comput. Struct. Biotechnol. J.* **18**, 1 (2020).
- [8] E. Aurell, C. Ollion, and Y. Roudi, *Eur. Phys. J. B.* **77**, 4 (2010).
- [9] J. A. Peraza-Goicolea, E. Martínez-Montes, E. Aubert, P. A. Valdés-Hernández, and R. Mulet, *Neural Networks* **123**, 5 (2020).
- [10] Y. Hernández, "Modeling the neural activity of *Caenorhabditis elegans* through neural message passing". Diploma Thesis, Universidad de La Habana, La Habana, 2022.
- [11] D. Kim, and D. H. Kim, *Phys. Rev. E* **98**, 2 (2018).
- [12] K. Huang, *Statistical Mechanics*, 2nd Ed. (New York: John Wiley and Sons, 1987), pp. 341-399.
- [13] G. Joya, M. A. Atencia, and F. Sandoval, *Neurocomputing* **43**, 1 (2002).
- [14] Y. Iba, *Journal Yukito Iba*, *Trans. Jpn.* **16**, 2 (2001).
- [15] J. S. Yedidia, W. T. Freeman, and Y. Weiss, *Understanding Belief Propagation and its generalizations*, (Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, USA, 2003), pp. 239-269.
- [16] E. Tagliazucchi, P. Balenzuela, D. Fraiman, and D. Chialvo, *Front. Physiol.* **3** (2012).
- [17] Y. Jiang, C. Jia, and J. Yu, *J. Phys. A: Math. Theor.* **47**, 16 (2014).

---

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.



# 50 AÑOS DE LA PRIMERA GRADUACIÓN DE FÍSICOS EN LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE

## 50 YEARS OF THE FIRST GRADUATION OF THE PHYSICS CAREER AT THE ORIENTE UNIVERSITY

L. M. MÉNDEZ-PÉREZ, A. CRUZ-GARCÍA<sup>†</sup>

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba 90500, Cuba;acruz@uo.edu.cu<sup>†</sup>

<sup>†</sup> autor para la correspondencia

Recibido 6/12/2022; Aceptado 1/2/2023

Resumimos brevemente los eventos clave asociados a los estudios de Física en la Universidad de Oriente, en el 50 aniversario de su primera graduación. Se discute una serie de asuntos interesantes del curriculum de Física en nuestra universidad, así como algunas nuevas políticas –como el actual sistema de admisión, y la enseñanza al grado 12 del preuniversitario en la universidad. Finalmente, mostramos estadísticas de las graduaciones de Física.

We briefly survey the key events associated to Physics studies in Oriente University in the 50th anniversary of the first graduation. A number of interesting issues of the Physics curriculum in our University are discussed; as well as some new policies –like the current admission system and the teaching of the 12th year of high school at the university. Finally, we show statistics of graduate studies in Physics.

PACS: Physics career (carrera de física), 01.85.+f; Physics education (educación en física), 01.40.-d; History of science (historia de la ciencia), 01.65.+g; Science and society (ciencia y sociedad), 01.75.+m

### I. INTRODUCCIÓN

A raíz de la ley de Reforma Universitaria de 1962 se inicia la formación de Licenciados en Física [1] en la Escuela de Física de la Universidad de la Habana (UH). En 1967, a los veinte años de fundada la Universidad de Oriente (UO) [2–4] se solicita al Ministerio de Educación la autorización para formar físicos en sus predios, dentro de un Plan Especial de Ingeniería Física.

Con el desarrollo de este plan se funda la Escuela de Física de la UO en marzo de 1970, celebrándose el 8 de diciembre del mismo año el acto de graduación de sus primeros y únicos 17 Ingenieros Físicos; cumpliéndose en este año 2020 su L aniversario.

En este trabajo se presentan algunos hechos relacionados con esta carrera de Física en la UO, entre ellos: políticas de ingreso, como el Proyecto MES/MINED de duodécimo grado de preuniversitario en la Universidad, cantidad de egresados y la ubicación laboral de algunos de ellos y el trabajo de investigación de los estudiantes.

#### Carrera de Ingeniería Física, primera graduación

Como se dijo anteriormente en el año 1967 [2–4] la UO solicita al Ministerio de Educación la autorización para formar Ingenieros Físicos en un Plan Especial, la matrícula para esta nueva carrera se realizó seleccionando estudiantes de otras carreras de Ingeniería o Ciencias Químicas de la UO, que mostrasen interés y tuviesen en el tiempo cursado en la Universidad buenos resultados académicos; y también otros de la provincia de Oriente que cursaban Licenciatura en Física en la UH, conformándose un primer grupo (F-1), en el segundo semestre del curso 67- 68; y un segundo grupo, el (F-2), a inicios del curso 68- 69.

Por la explosión de la matrícula universitaria que habría en 1971, la carrera se redujo a cuatro años, por eso en la tarde del martes 8 de diciembre de 1970, en el emblemático e histórico Teatro Universitario de la UO, se celebró el acto solemne de graduación de los primeros físicos formados en esta indómita institución académica, los primeros y únicos 17 Ingenieros Físicos, que se reportan en los datos del Departamento de Estadísticas de la UO, 8 en el curso 1969 - 1970 y 9 en el siguiente, 1970 - 1971.

Al concebirse ese plan y fundarse la Escuela de Física en la UO [2, 4] se definió un perfil de trabajo y un plan de estudio con especializaciones, dentro de los métodos físicos de análisis, en los campos de la: Óptica y Espectroscopia, Física Nuclear y en Física de los Rayos X y Metales; que tenía las Asignaturas Optativas [5]: Óptica Aplicada, Espectroscopia Atómica y Espectroscopia Molecular, en Óptica y Espectroscopia; para el caso de Física Nuclear: Interacción de las radiaciones con las sustancias, Radiactividad y Técnicas Nucleares; y para Rayos X y Metales: Cristalografía, Física de los Rayos X y Análisis Roentgenográfico.

Además se incluía en plan la realización de un trabajo de culminación de estudios, consistente en una investigación en el campo de la especialización, denominado Tesis de Grado. Por la reducción de la carrera a cuatro años, como se expresó antes los estudiantes fueron eximidos de realizar la Tesis de Grado, lo que limitó su formación investigativa.

#### Carrera de Licenciatura Física

A partir de la graduación del curso 72 - 73 el título emitido es el de Licenciado en Física, en la Fig. 1 se presenta la matrícula de la carrera por cursos académicos, 1968 - 1969 (1) hasta el 2019 - 2020 (52), teniéndose una matrícula total [6] de 3368

estudiantes en el diurno, además de 428 en el vespertino nocturno que existió entre los cursos 79 -80 al 93 -94, para un total de 3796.

Si bien la matrícula de los graduados de Ingeniería Física fue por selección, como se expresó arriba, en los cursos posteriores el ingreso se efectuaba según las normas establecidas por el ministerio para todas las carreras hasta que en el curso 2003-2004 se estableció un nuevo sistema de ingreso, como parte de un intento por mejorar tanto la calidad como la cantidad de los estudiantes de nuevo ingreso. Este sistema preveía la realización de una prueba de habilidades para seleccionar a aquellos que accederían a la carrera, la cual estaba garantizada con antelación al proceso de ingreso general a la Universidad.

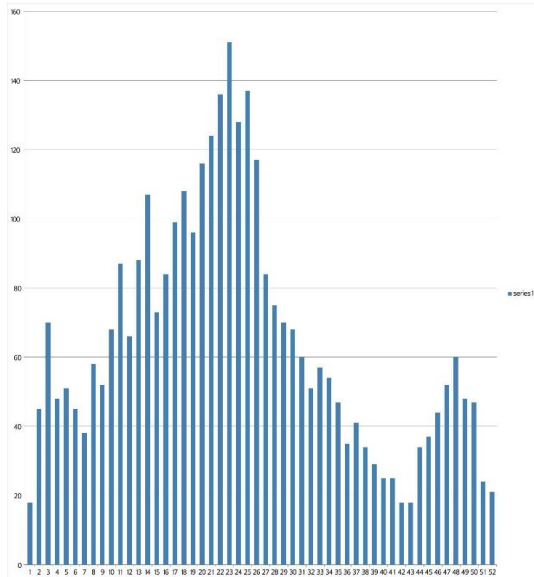


Figura 1. Comportamiento de la matrícula de nuevo ingreso a la carrera de Física en la Universidad de Oriente a lo largo de toda su historia.

No obstante a ese nuevo método de ingreso, la matrícula decrecía, teniéndose en los dos primeros lustros del siglo XXI una disminución aproximadamente del 90 %. Con el fin de intentar revertir este comportamiento a partir del curso 2009/10 fue creado el Proyecto MES/MINED mediante el cual los estudiantes de preuniversitario previo una prueba de selección, realizaban el 12 grado en un aula anexa al Departamento de Física de la UO (DFUO).

Tabla 1. Cantidad de estudiantes matriculados por cursos

Cursos	Matrícula (Proyecto)
2010-2011	13 (6)
2011-2012	16 (15)
2012-2013	13 (6)
2013-2014	14(11)
2014-2015	22(10)
Total	72(48) (66.7%)

En septiembre del 2010 ingresaron a la carrera los primeros estudiantes que hicieron sus estudios de duodécimo grado en la Universidad. En la Tabla 1 se muestra la cantidad de estudiantes matriculados en los cursos, en que existió este

Proyecto MES/MINED dirigido por el DFUO, observándose una reanimación de la matrícula a la carrera.

En la Fig. 2 se muestra la cantidad de graduados del curso regular diurno [6] desde el curso (1) 1968- 69 hasta el presente (51) 2019 - 20, como se observa, en los cursos 87- 88 al 96 - 97 se destaca un promedio de graduados mayor a 15, debido al ingreso de algunos que estudiaban en Universidades de los países exsocialista o pensaban estudiar en ellas.

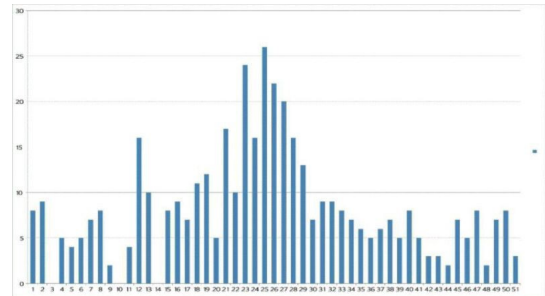


Figura 2. Número de egresados en cada curso escolar a lo largo de toda la historia de la carrera de Licenciatura en Física en la UO, curso diurno. El eje horizontal corresponde al numero del curso.

En la primera graduación de 1970, de los 17 Ingenieros Físicos, 3 eran del sexo femenino. Desde ese momento y hasta el presente [6] la UO ha graduado a 453 Físicos, de ellos 424 en el curso diurno y 29 en el curso vespertino nocturno. Resultando para el diurno, sólo un índice de 12,59 % de egresados respecto a la matrícula y un promedio de 8,48 graduados/cursos. En el curso diurno se han graduado 14 extranjeros de países de África y América Latina, entre ellos: Angola, Etiopia, África del Sur, México, Haití y Panamá.

Si los primeros 17 graduados de física en la Universidad de Oriente fueron ubicados en el claustro de su propia Escuela de Física, con el transcurso del tiempo, los graduados han sido ubicados en diferentes entidades de las actuales provincias orientales del país. La ubicación de los graduados de los cursos del 09/10 al 19/20, es muy diversa, se tienen ubicaciones en el Hospital Oncológico, Centro de Energía Solar y el Centro Provincial de Meteorología de Santiago de Cuba, Centro Provincial de Metrología de Holguín, FAR, etc. Teniéndose una alta contribución a los Centros de Enseñanza Superior, dígame Universidad de Holguín, Granma, Las Tunas, Moa y por supuesto la UO, aunque ahora no es sólo en el DFUO, sino en otras dependencias como son el Centro de Biofísica Médica, el Centro de Electromagnetismo Aplicado y el Departamento de Física Aplicada.

En el acto de graduación de los primeros Físicos formados en la UO hace 50 años, el Director de la Escuela de Física en ese momento, Lic. Jorge González Alonso [7] expresaba:

*La Escuela actualmente estructurada puede junto con el pequeño número de graduados que ha contado hasta el presente, constituir un núcleo que sea el punto de partida del desarrollo de la Física en nuestra provincia.*

Hoy, cincuenta años después, esas palabras se han hecho realidad, entendiendo por nuestra provincia, las hoy provincias orientales.



Los primeros graduados de Licenciatura en Física en el curso 1972 - 1973 y hasta los matriculados en el curso 1977 -78 tenían un plan de estudio confeccionado en la propia Escuela y en el que se mantenían las especializaciones de Rayos X y Metales, Óptica y Espectroscopia y Física Nuclear ahora con más Asignaturas Optativas, por ejemplo [8] en Rayos X y Metales [Cristalografía, Física de los Rayos X, Análisis Roentgenográfico I, Análisis Roengenoestructural, Métodos Radioelectrónicos en Rayos X]. En este plan ya se incluía en el noveno semestre la asignatura Máquinas Computadoras, además en el séptimo había un Trabajo de Curso y en el décimo la Tesis de Grado.

Entre los años 1977 y 1982, se aplica el Plan de estudio "A", que era unificado y contemplaba las mismas especializaciones ya mencionadas de Rayos X y Metales, Óptica y Espectroscopia y Física Nuclear.

En el curso 82 - 83 comienza el Plan de Estudio "B" eliminándose las especializaciones y entre los años 1990 y 2000 estuvo vigente el Plan de Estudio "C". Más tarde, en los años 2000 al 2007 estuvo el denominado Plan "C" modificado, que permitió introducir asignaturas para brindarle a los alumnos una preparación en las áreas de la Física Aplicada, más demandas en la región oriental del país.

En este Plan se introdujeron cinco asignaturas optativas en el cuarto y quinto años de la carrera en cuatro bloques con perfiles terminales [9] en: Ciencias de los Materiales [Termodinámica, Física del Estado Sólido, Ciencias de los Materiales]; Biofísica y Física Médica [Biofísica I y II, Física Nuclear y Radiobiología]; Ciencias del Medio Ambiente [Dinámica de la Atmósfera, Física no Lineal, Física del Medio Ambiente, Energía y Medio Ambiente] e Ingeniería Física [Física y Tecnología de Metales, Formación y Procesado Óptico de Imágenes, Dinámica Fluido Computacional], la quinta asignatura era vinculada al Trabajo de Diploma de cada estudiante.

La última y aún vigente versión del Plan de estudio es conocida como Plan D, que comenzó en el curso 2007- 2008. Este plan posee una estructura bastante similar en cuanto al contenido de las físicas y las matemáticas que el primer Plan de 1967; lógicamente la Electrónica y la Computación tienen una presencia superior y su sistema de conocimiento a cambiado radicalmente. En Electrónica, por ejemplo, en el primer Plan se explicaban los circuitos con válvulas al vacío (triódos y pentódos) y sólo se mencionaban los transistores bipolares, a partir de 1976 el curso es a base de transmisores bipolares y se introducen los transistores de efecto de campo y los amplificadores operacionales integrados con el ejemplo del  $\mu A709$ .

Este Plan D, como los anteriores a partir del B no posee especializaciones, pero sí Asignaturas Optativas, ahora estas son nueve, divididas en dos grupos: el Grupo I con tres asignaturas en 2do y 3er años, que complementan las obligatorias de estos años; el Grupo II consta de seis asignaturas, del primer semestre de 4to año hasta el segundo semestre de 5to año. Ejemplos de algunas de las asignaturas Optativas ofrecidas a partir del curso 13/14 se presentan, [10] en la Tabla 2.

En el plan de estudio de los primeros graduados de Licenciatura en Física ya se tenía un Trabajo de Curso en cuarto año y un Trabajo o Tesis de Grado en quinto año; en los que los estudiantes realizaban pequeñas investigaciones en el campo de su especialización, caracterizados en sus inicios por la repetición de aplicaciones ya realizadas, y en general de un bajo nivel, pero ello, influyó positivamente en su formación investigativa debido a la acción directa de los especialistas soviéticos, principalmente de la Universidad Estatal de Leningrado (UEL) que trabajaban en la Escuela.

El inicio del plan de estudio "A" en 1977 coincide con la etapa (1976 - 1978) en que se reintegran al claustro de la Escuela de Física los primeros graduados como Ingenieros Físicos [2,4], que habían ido a superación de postgrado al extranjero (URSS o RDA), bien después de recibir entrenamiento o ya graduados de Candidatos a Doctores (Dr. C. en la actualidad), los que comenzaron a transmitir a los estudiantes sus experiencias en la investigación, siguiendo con la filosofía propia de la Escuela de ser experimental-aplicada.

Desde esa época se promueve el uso de las técnicas de computación en los trabajos de investigación de los estudiantes y que el resultado de los Trabajos de Diploma fuesen escritos siguiendo la estructura de artículos científicos para ser publicados en coautoría con sus tutores en revistas científicas, como fue el Trabajo de Diploma del estudiante Raúl Ortiz Pérez [11], consistente en la confección del programa EFICOU-I en FORTRAN-10H para una Minicomputadora IRIS-10 destinado para el cálculo de la eficiencia intrínseca de cristales cilíndricos de NaI(Tl) de diferentes dimensiones de una fuente puntual situada sobre su eje.

Con el plan de estudio "B", como se mencionó se eliminan las especializaciones, pero se incluye la Práctica de Producción desde el segundo año, con el Trabajo de Diploma en quinto, ampliándose en algo el tiempo que los estudiantes deben dedicar a la investigación. Entre los años 1986/90 en que aún estuvo vigente el Plan B, se amplió el espectro de las investigaciones en que participaron los estudiantes de medicina y se realizaron Trabajos de diploma en centros hospitalarios como, el realizado [12] en colaboración con el Hospital Oncológico "Conrado Benítez" de Santiago de Cuba, del estudiante Juan Ceballos Ruano en 1988 titulado: "Pruebas cuantitativas en el análisis de renogramas". Este fue parte de los primeros trabajos biomédicos realizados por parte de los profesores, investigadores y alumnos de la carrera de Física que conllevaron a la inauguración del Centro de Biofísica Médica (CBM) de la UO en febrero de 1993.

Entre los cursos 2001/02 - 2006/07, el 89,75% del total de egresados realizaron sus trabajos de diploma en las áreas de la Física Aplicada, enmarcadas en los bloques de las Asignaturas Optativas, descrito arriba [9], según se detalla a continuación: 54,3% en el bloque de Ciencias de Materiales, que se trabajaba directamente en el Departamento; 17,1% en el de Biofísica y Física Médica en el CBM; 14,3% per cápita en las áreas de Ingeniería Física y Ciencias del Medio Ambiente los que se realizaban en colaboración con el Centro de Eficiencia Energética, el Centro Provincial de Meteorología y el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado.

De igual forma en los cinco cursos comprendidos entre los años 2010 y 2015 se tiene un elevado por ciento de Trabajos de Diploma defendidos en el campo de la Física Aplicada, de ellos el 55 % corresponden a Ciencias de Materiales, el 30 % a Biofísica Médica; y el resto a temas fundamentales de la física. Mostrando que la concepción inicial de la formación de Físicos en la UO de realizar investigaciones aplicadas se mantiene, ejemplo de ellos son los Trabajos siguientes:

1- Estudio del oleaje producido por ciclones tropicales en la costa sur de las provincias orientales. (Autor: Leoandris Martínez Serrano. Tutor: MSc. Humberto Varona). 2010.

2- Evaluación de la aplicación de un tratamiento magnético pre-siembra en la germinación de semillas de frijol común, para tres variedades, con técnicas de procesamiento de imágenes. (Autor: Raúl Rodríguez. Tutor: MSc. Rafael Mut Benítez). 2015.

Prosiguiendo con la política de publicación y presentación de los resultados de los trabajos de los estudiantes en revistas y eventos científicos respectivamente, se tienen por ejemplo el trabajo de Leoandris Martínez Serrano presentado en el 2011 en el VI Congreso Cubano de Meteorología [13], el del estudiante de cuarto año Marcos Planas Valezuela [14] en el XIV Simposio y XII Congreso de la Sociedad Cubana de Física del 2017, la publicación del estudiante José Ramón Fernández [15] en la Revista Cubana de Física y finalmente la participación recientemente en el XV Simposio y XIII Congreso de la Sociedad Cubana de Física 9-13 de marzo del 2020 de los egresados en el curso 2018 - 2019 y que realizaron su trabajo de investigación en colaboración con la Universidad de La Habana en temas de Física Teórica [16].

En el período 2011/2020 se obtuvieron [17,18]: cuatro premios de la ACC en los temas mencionados arriba en los que se tiene colaboración con la Universidad de São Paulo Superconductividad, Holografía Digital y Ruido Barkhausen.

Entre los proyectos de investigaciones nacionales e internacionales mediante la colaboración institucional, en el período 2011/2020 [17] se pueden mencionar:

1. Superconducting and normal properties in Bi-2223 polycrystalline superconductor. Universidad de São Paulo. Fapesp, Proceso 2010/50381.

2. Aplicación del ruido magnético de Barkhausen en el estudio de las transformaciones de fases en aceros y aleaciones ferrosas. CNPq, Proceso 453385/2010-9. Universidad de São Paulo.

3. Ruido, transporte y fenómenos magnéticos en superconductores para aplicaciones tecnológicas. CAPES-MES. Proceso 100/10. Universidad de São Paulo.

4. Ruido Barkhausen, Transporte Electrónico y Fenómenos Magnéticos en Óxidos Superconductores para Aplicaciones Tecnológicas. CAPES-MES Proceso 104/10. Universidad de São Paulo. Prorrogado hasta 2013-2014.

5. Microscopia Holográfica Digital Aplicada ao estudo de agregados de b2-Glicoproteína-I em solução. Capes/MES. Proceso 119/11. Universidad de São Paulo. Prorrogado hasta 2014-2016.

6. Fortalecimiento de las Ciencias Básicas y Naturales para la innovación, Proyecto VLIR-UO, No. 9741, TP2: 2013-2018.

7. Obtención de materiales carbonosos y diseño de celdas de biocombustibles a partir de residuales de la industria azucarera. Programa Nacional de Nanociencia y Nanotecnologías, Proceso No. 9133: 2019-2024.

A su vez, esta colaboración ha sido una fuente muy importante en la educación de postgrado con ella se han podido formar 4 Doctores y 3 Máster en Ciencias del claustro de la carrera y de otras instituciones de las provincias orientales y Camagüey.

Se debe destacar que estas colaboraciones han permitido a los Físicos de la UO desarrollar trabajos de alto valor científico en el campo de la Física Experimental, a pesar del bloqueo que no permite la compra de equipos modernos al país, pues se utilizan las instalaciones existentes en los centros con los que se tiene colaboración, poniendo el conocimiento para su uso y empleo; además como ha acontecido en algunos momentos estos centros han cedido algún que otro equipamiento o se han construido dentro de la misma colaboración y hoy se encuentran en nuestros laboratorios para su uso también por los estudiantes en sus trabajos de curso o de diploma.

## II. CONCLUSIONES

La concepción de la formación de un físico en la Universidad de Oriente capaz de desenvolverse en una matriz de profesionales no físicos y servir para vincular la física con otras ramas de la ciencia, se mantiene vigente después de transcurridos 50 años de la primera graduación de los Ingenieros Físicos en diciembre de 1970.

La inclusión de las asignaturas optativas logra una orientación y articulación de las experiencias educativas que facilitan y permiten desarrollar habilidades de trabajo investigativos en centros que se encuentran en la región oriental de Cuba y que son fuentes de empleo para los egresados. Permitiendo también, que los estudiantes se orienten a participar en temas de investigación, desde el pregrado, dando solución a problemas territoriales.

La carrera de Licenciatura en Física de la Universidad de Oriente ha devenido en su evolución histórica de 50 años en un pilar para la formación de muchas generaciones de físicos de las provincias orientales del país, como se vislumbró en el acto de graduación de la primera y única de Ingenieros.

## REFERENCIAS

- [1] O. de Melo, M. Sánchez-Colina, Rev. Cub. Fis. **29**, 90 (2012).
- [2] L. Méndez, A. Baracca, Rev. Cub. Fis. **18**, 146 (2001).
- [3] L. M. Méndez-Pérez, P. Muné-Bandera, E. J. Roca-Oria, Rev. Cub. Fis. **32**, 214 (2015).
- [4] L. M. Méndez-Pérez, C. Cabal-Mirabal, Physics at the University of Oriente en el libro The History of Physics in Cuba, (Series Boston Studies in the Philosophy and History of Science de los Editores: Angelo Baracca, Helge Wendt & Jurgen Renn. Springer Dordrech Heidelberg, New York, London, 2014) pp. 252.

- [5] Expedientes 00017, 00019, 00012 de la Escuela de Ingeniería Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Oriente.
- [6] Datos del Departamento de Estadística de la Universidad de Oriente, 21 de julio del 2020.
- [7] J. González-Alonso, Discurso leído el 8 de diciembre de 1970 en el acto de graduación de los primeros Físicos en la UO.
- [8] Expediente 00006 de la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Oriente.
- [9] L. M. Méndez-Pérez, Ingeniería física en Cuba, antecedentes y plan actual y perfil biomédico actual. Mesa redonda sobre Ingeniería Física: su concepción y fuente de empleo en Iberoamerica, IV Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria, Ciudad de la Habana, Enero 2007.
- [10] L. M. Méndez-Pérez, Asignaturas Optativas de la carrera de Física vinculadas con: la Física General, el Trabajo Científico y el entorno territorial. Seminario Científico Metodológico de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, SemCiMet'2017. 4ta Conferencia Científica Metodológica 2017, Universidad de Oriente, ISBN 978-959-207-586-3.
- [11] L. Méndez, R. Ortíz, *Rev. Cub. Fis.* **2**, 91 (1982).
- [12] R. A. Miller-Clemente, L. Mendez-Peréz, *Med. Phys.* **42**, 3224 (2015).
- [13] L. Martínez-Serrano, H. Varona, Estudio del oleaje producido por ciclones tropicales en la costa sur de las provincias orientales, Resúmenes VI Congreso Cubano de Meteorología 2011, (2011) pp. 47.
- [14] M. Planos, Y. Arias, J. Ricardo, et. al., Configuración experimental para la determinación del mapa de índice de refracción usando Microscopía Holográfica Digital (MHD), Programa y Resúmenes XIV Simposio y XII Congreso de la Sociedad Cubana de Física, (2017) pp. 91.
- [15] J. R. Fernández-Gamboa, A. Cruz-García, P. Muné, E. Altshuler, O. Vázquez-Robaina, R.F. Jardim, *Rev. Cuba Fis.* **33**, 127 (2016).
- [16] L. R. Villarrubia-Rio, F. E. Pascual-García, A. Milanes-Garcia, F. Tamayo-Delgado, J. A. Heredia-Kindelan, N. Del Campo-Soler, et. al, Programa XV Simposio y XIII Congreso de la Sociedad Cubana de Física, (2020).
- [17] Informe de auto evaluación de la carrera de Licenciatura en Física, mayo 2015.
- [18] Informe de Pleno de la Academia de Ciencias de Cuba, (2020).

Tabla 2. Algunas Asignaturas Optativas ofertadas desde el 2013/14

Año	1er Semestre	2do Semestre
2do	<b>Optativa I</b> Física de la atmósfera y de la Tierra Álgebra, geometría, calculus y computación: herramienta del físico	<b>Optativa II</b> Mediciones Magnéticas Introducción a los Sistemas Dinámicos Análisis vectorial y tensorial
3ro		<b>Optativa III</b> Sensores de fibras ópticas Óptica Fisiológica Introducción a la modelación mediante ecuaciones diferenciales
4to	<b>Optativa IV</b> Fuentes renovables de energía Introducción a la Instrumentación Virtual	<b>Optativa V</b> Historia de la física Ciencia, tecnología y sociedad <b>Optativa VI</b> Biofísica Teoría del medio efectivo y métodos para medir resistividad
5to	<b>Optativa VII</b> Física Médica de las radiaciones ionizantes Fundamentos de superconductores <b>Optativa VIII</b> Física del Estado Sólido Introducción a la RMN	<b>Optativa IX (complemento del TD)</b> Temas avanzados de superconductores Holografía digital Efecto Barhausen Etc...

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.



# EL DFT: 45 AÑOS DE TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPOS EN CUBA

## THE DFT: 45 YEARS OF QUANTUM FIELD THEORY IN CUBA

G. QUINTERO ANGULO<sup>a†</sup> AND D. ALVEAR TERRERO<sup>b</sup>

a) Departamento de Física Teórica, Facultad de Física, Universidad de la Habana, San Lázaro y L, Vedado, La Habana 10400, Cuba; gquintero@fisica.uh.cu<sup>†</sup>.

b) Departamento de Física Teórica, Instituto de Cibernética, Matemática y Física, Calle E esq. 15 No. 309, La Habana, CP 10400, Cuba. dianaalvear@icimaf.cu.

<sup>†</sup> corresponding author

Recibido 20/2/2023; Aceptado 1/5/2023

We briefly review the history and achievements of the Department of Theoretical Physics (DFT) of the ICIMAF since its foundation in 1976. The data and opinions of former and current members of the DFT were taken from a series of interviews made to the participants of the scientific conference FT-45, held virtually in March 2021, to celebrate the 45th anniversary of the DFT.

Reparamos brevemente la historia y logros del Departamento de Física Teórica (DFT) del ICIMAF desde su fundación en 1976. Los datos y opiniones de miembros previos y actuales del DFT fueron tomados de una serie de entrevistas realizadas a los participantes de la conferencia científica FT-45, realizada virtualmente en marzo de 2021, para celebrar el 45 aniversario del DFT.

PACS: Quantum Field Theory (Teoría cuántica de campos) 04.62.+v, History of science (Historia de la ciencia) 01.65.+g, Science and government (Ciencia y gobierno) 01.78.+p.

### I. INTRODUCTION

Around 1970, first generations of Cuban physicists started to regularly go to high-level research centers in the former socialist countries to obtain their Ph.D.s. As part of that group, in the summer of 1974, professor Hugo Pérez Rojas arrived at the Lebedev Institute to begin his doctoral studies in finite-temperature quantum field theory under the supervision of Efim S. Fradkin and Anatoli E. Shabad. In the course of his research, which was carried out between Moscow and Havana, the vice-president of the Cuban Academy of Sciences (ACC), Dr. José Altshuler Gutwert, suggested to professor Hugo the creation of a department devoted to particle physics as a part of the ININTEF<sup>1</sup>. Hence, in March 1976, the Group of Theoretical Physics was born. After 45 years and several changes of denomination, location, and affiliation, the group is known as the Department of Theoretical Physics (DFT after its acronym in Spanish) of ICIMAF and can be found at the intersection of E and 15th streets in Vedado, Havana.

Still working under the leadership and inspiration of professor Hugo, the DFT is currently composed by fourteen full-time researchers ranging from senior investigators to graduate students, six regular collaborators from other institutions, and several undergraduate students from the Faculty of Physics of the University of Havana. Its scientific activity revolves also around the senior researchers Dr. Alejandro Cabo Montes de Oca, Dr. Augusto González, Dr. Aurora Pérez Martínez, and Dr. Elizabeth Rodríguez Querts.

The ties with the Lebedev Institute and other Russian research centers from 1976 to 1990 were crucial to the establishment of the main research lines of the DFT and to the education of its members. Although these relations declined after the collapse

of the socialist block, new bonds have been established since then between the department and a number of prestigious international research institutions like the ICTP in Italy, the CINVESTAV in Mexico, the FIAS in Germany and the TWAS. All in all, the DFT has had scientific links with more than twenty-three research centers and universities of sixteen countries. Over time, its initial scope expanded from finite-temperature quantum field theory to other areas such as condensed matter physics, high energy physics, gravitation and astrophysics, and biophysics, to name a few.

As a result of its academic activity, the DFT accumulates more than 300 peer-reviewed scientific publications (Fig. 2), more than sixty thesis from bachelor to Ph.D., and more than twenty collective research awards given by the the Cuban Academy of Sciences (ACC), and the Cuban Agency for Nuclear Energy and Advanced Technologies (AENTA). Several of its members have received important national and international awards. Dr. Hugo Pérez Rojas (2011), Dr. Alejandro Cabo Montes de Oca (2012), and Dr. Augusto González (2014) have been awarded the National Manuel F. Gran Physics Prize given by the Cuban Physics Society to recognize their life achievements. The Order Carlos J. Finlay was granted by the Cuban government to Dr. Hugo Pérez Rojas (2011), Dr. Alejandro Cabo Montes de Oca (2005), and to Dr. Aurora Pérez Martínez (2018) to recognize their contributions to the socio-economic development of the country. Dr. Aurora Pérez Martínez and Dr. Elizabeth Rodríguez Querts have received the Sofia Kovalevskaya Award. In 2023, Dr. Hugo Pérez Rojas was granted the Spirit of Abdus Salam Award for his dedication to the development of science and technology in the developing world.

The DFT is known for the high quality of the conferences it frequently hosts. The international conferences

<sup>1</sup>Institute of Technical and Fundamental Research, that evolved years later into the Institute of Cybernetics, Mathematics and Physics (ICIMAF)

STARS/SMFNS, organized every other year since 2003, is one of the larger physics event in the country and the only one devoted to astrophysics. The STARS/SMFNS pre-school is expected with special interest by students, while the Latin-American Conferences on High Energy Physics, Particles and Strings, are remembered as one of the best events ever attended by many of the interviewees.



Figure 1. Some members, collaborators and staff of the DFT (12/16/2017). From top to bottom and left to right: Hugo Pérez Rojas (founder), Alejandro Cabo Montes de Oca, Mónica Rojas Vidaurreta, Duvier Suárez Fontanella and Diana Alvear Terrero; Gabriel Gil Pérez, Gretel Quintero Angulo and Lismary Suárez González; Augusto González, Aurora Pérez Martínez, Yamila Chong Riera, Elizabeth Rodríguez Querts and Daryel Manreza Paret; Samantha López Pérez and José Carlos Suárez Cortina.

In parallel to research, the department maintains an active participation in physics education, promotion and divulgation. Many of its members teach undergrad and graduate physics. Hugo Pérez Rojas, Alejandro Cabo Montes de Oca, and Augusto González are members of the Cuban Academy of Sciences. Augusto González has been president of the Cuban Physics Society, while Aurora Pérez Martínez and Elizabeth Rodríguez Querts have been vice-presidents. Aurora Pérez Martínez is the founder chief of the Women's section of the Cuban Physics Society.

Among the outreach activities of the DFT stand out the exhibition of intervened microscopy photos "Paisajes del micromundo" (2011), the video clip "Electrobacteriando" (2012) which had several nominations in the Cuban TV awards for musical video clips, and the "Convergencias" workshops (2010) organized by Prof. Hugo Pérez Rojas, the poet Victor Fowler and the anthropologist Jesús Guancho. Other such activities include the publication of scientific divulgation articles, holding public conference cycles and maintaining an active presence on social media.

Along the years the group has had to overcome various

difficulties, including the sometimes excessive bureaucracy, the brain drain due to economic pressures, a permanent lack of financial resources, and the hostility of those who do not understand the importance of having other than applied research in Cuba. In this environment, the DFT survived thanks to the will of its members and their conviction that developing fundamental science is essential for social and economical advancement. In the words of Dr. Alejandro Cabo Montes de Oca, "(...) in the absence of the DFT the physics in Cuba would have been amputated from studies focused on the most basic methodology of contemporary theoretical physics".

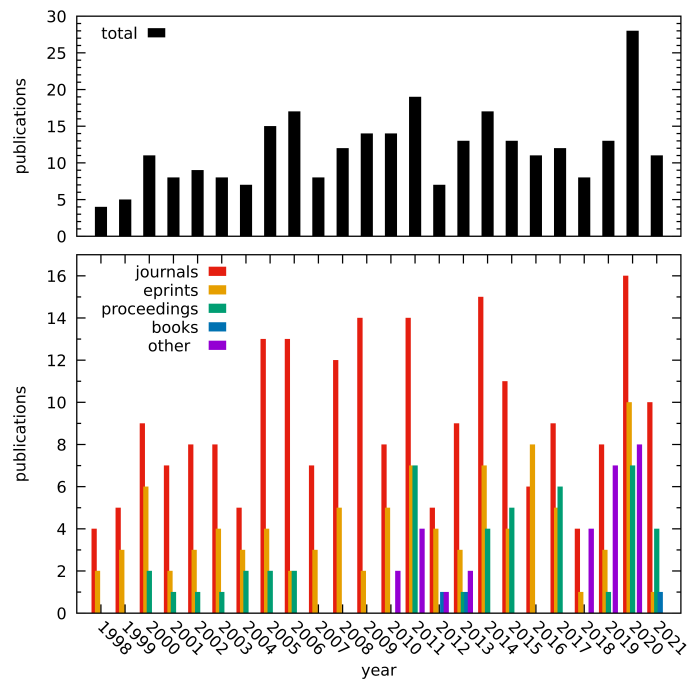


Figure 2. Summary of DFT publications from 1998 to 2021.

Another reason for the survival of the department is its pleasant work environment, as reflected in the survey, where most interviewees highlighted the positive impact of their transit through the DFT in their personal and professional lives. For Lidice Cruz Rodríguez, who was a master student at the group, the DFT was her first real research experience: "I not only followed the guidelines of my advisors but also contributed with my ideas and criteria, which to my surprise were listened. Whenever I think of a place where I really enjoyed working, my afternoons at DFT come to mind". Efraín Ferrer, former member of the DFT, states "in the Cuba of the 80's it was like an intellectual oasis. It gathered a small group of young scientists, full of energy and plans, who devoted themselves intensely to grow as researchers. (...) we spent days talking about sums in  $p$  four, renormalizations, condensates and chemical potentials..."

Nowadays, the DFT continues to be this oasis where young Cuban physicists go to learn general relativity and particle physics, where the focus is always on the science and the people that make it.

---

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.



# BREVE HISTORIA DE LA FÍSICA EN LA UNIVERSIDAD CENTRAL MARTA ABREU DE LAS VILLAS (1986-PRESENTE)

## A BRIEF HISTORY OF PHYSICS AT MARTA ABREU UNIVERSITY OF LAS VILLAS (1986-PRESENT)

J. E. HERNÁNDEZ-RUIZ<sup>a†</sup>, A. DUFFUS-SCOTT<sup>b</sup>

a) Dpto. de Física, Facultad de Matemática, Física y Computación, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara 54830, Villa Clara, Cuba; jesusehr@uclv.edu.cu<sup>†</sup>

b) Centro de Investigación de Soldadura, Facultad de Ingenierías Mecánica e Industrial, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara 54830, Villa Clara, Cuba; aduffus@uclv.edu.cu

† autor para la correspondencia

Recibido 15/5/2023; Aceptado 15/6/2023

Se relatan los hechos más sobresalientes de la Historia de la Física en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), desde el cierre en 1985 de la primera edición de la carrera de Licenciatura en Física (LF) hasta la actualidad. Se delimitan dos periodos fundamentales, uno de tránsito y el segundo iniciado con la reapertura de la segunda edición de la carrera de LF en la UCLV, que se extiende hasta el presente. En el primer periodo se distinguen dos etapas, la primera caracterizada por el arduo trabajo metodológico del Departamento de Física (DF) y una segunda, de consolidación del DF, donde sobresalen los resultados alcanzados en ciencia y técnica que condicionaron la reapertura de la carrera. En la medida de lo posible, los acontecimientos se presentan en orden cronológico y se analizan los resultados más sobresalientes en la docencia, las investigaciones y en la extensión universitaria, así como las causas que condicionaron uno u otro hecho, sus consecuencias y el papel del colectivo y sus líderes.

The most outstanding facts of the Physics History in Central University "Marta Abreu" of Las Villas (UCLV) since 1985, when the first edition of the Career Physics closed, until the present are storied. Two main periods are defined: a "transit" one, and a second one starting with the reopening of the second-edition of Physics at UCLV, which extends until the present. In the first period, two stages can be distinguished, the first characterized by the hard methodological work of the Physics Department (DF) and a second, of consolidation of the DF, where scientific-technical achievements supported the reopening of the studies in Physics. As far as possible, the events are presented in chronological order and the most outstanding results in teaching, science and technology are analyzed, as well as the causes that conditioned one event or another, its consequences, and the role of both the leaders and the whole department.

PACS: History of science (historia de la ciencia), 01.65.+g; Physics career (carrera de física), 01.85.+f; Physics education (educación en física), 01.40.-d; Science and society (ciencia y sociedad), 01.75.+m

### I. INTRODUCCIÓN

Recientemente Hernández y Duffus Scott se sumaron a los esfuerzos de los físicos cubanos por documentar y divulgar la Historia de la Física en Cuba. Ellos escribieron "Una breve Historia de la Física en la UCLV (periodo 1952-1985)", la cual culminó con la narración del cierre de la primera edición de la carrera Licenciatura en Física (LF) en 1985 [1]. Sin embargo, la Historia de la Física en esta institución, en el periodo posterior al cierre de la carrera hasta el presente, es rica en acontecimientos que ameritan ser relatados para su conocimiento general. En este contexto, resulta adecuado presentar y documentar algunos apuntes sobre la Historia de la Física en la UCLV, desde el cierre de la carrera de Física hasta el presente, que es el propósito este del presente trabajo.

### II. UN PERÍODO DE TRÁNSITO (1986-2005)

#### Los años iniciales del DF

De acuerdo con lo expresado por el Dr. José Luis García Cuevas a estos autores [2], en el cierre de la carrera de Física de la UCLV imperó un pensamiento pragmático. En los análisis primó la idea de que no se justificaba emplear la fuerza profesoral que

demandaba la carrera de LF, con una matrícula muy reducida, ante el creciente aumento de las matrículas de las carreras de Ciencias Técnicas que tuvo lugar en aquellos años. Sin embargo, el propio García Cuevas consideró que el cierre de la carrera de Física fue un acierto táctico, pero un error estratégico, confiando que la historia no se repita [2].

Unido al aumento considerable de las matrículas, lo que demandaba de más profesores para la impartición de física a las carreras técnicas, se produce el traslado de varios profesores y técnicos del DF para el Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), fundado en 1987. Esto induce al Dr. Juan Valentín Lorenzo Ginori, nombrado Jefe del DF en noviembre de 1986, a captar profesores, muchos de ellos noveles, entre ellos varios ingenieros, para impartir docencia de física [3,4]. Esto, lo hizo basado en su experiencia personal, toda vez que él en su época de estudiante se desempeñó como Instructor no Graduado y, ya recibido de ingeniero, como profesor de Física para Ciencias Técnicas y jefe del Departamento de Física de la Facultad de Tecnología [5].

Lorenzo Ginori diseñó un sistema de superación para los profesores del DF con cursos de postgrado (de los cuales él también fue alumno) de Física General, Teórica y Experimental impartidos por los profesores de mayor



experiencia [4,6]. Además, implementó la tutoría directa de los profesores más experimentados a los noveles [3]. Ello, unido a la tradición en el trabajo didáctico-metodológico de los colectivos docentes, heredada de los departamentos de Física de la Escuela de Química y de Física General de la Escuela de Física, fue uno de los factores que posibilitó, en la segunda mitad de la década de los 80 del pasado siglo, la cristalización del trabajo metodológico del DF, y al mismo tiempo, que profesores noveles, varios de ellos ingenieros, tuvieran un adecuado desempeño en la impartición de la Física General [3,4]. Sin embargo, un número considerable de los captados no permanecieron por mucho tiempo en el DF. Entre ellos, la mayoría de los ingenieros; que si bien jugaron un rol importante en la impartición de la docencia, su papel fue limitado, pues sus investigaciones no fueron en Física y, en general, sus resultados en ciencia y técnica, fueron prácticamente nulos. Además, pasados algunos años se trasladaron del DF [7,8]. La excepción es el hoy Dr. Ciencias Físicas Diosdado L. Villegas-Villegas, quien no solo perduró como profesor de física, sino que se dedica a investigar en el tema de la Mecánica Cuántica.

Como consecuencia del quehacer didáctico y metodológico de los colectivos docentes, fundamentalmente en la segunda mitad de la década de los 80 del pasado siglo, se terminan, editan y publican por la Imprenta Universitaria una serie de materiales de apoyo a la docencia, de los cuales se han podido recopilar 15 de ellos. Además, se conoce de la colaboración de los físicos en esta etapa en la escritura de materiales con los químicos y con investigadores del CIS [6,8].

Estos materiales docentes poseen un elevado rigor didáctico y metodológico, y estaban destinados a complementar a los libros de textos, apoyar el trabajo en el desarrollo de las clases prácticas, seminarios y de laboratorio, o de las clases-encuentros en los cursos para trabajadores. Entre estos materiales se encuentran Manuales de Laboratorio, Materiales Complementarios para las Física General I, II y III y otros. Los últimos dos de estos folletos se publican en los inicios de la década del 90 del pasado siglo. En este momento el país se encontraba en el llamado Periodo Especial, y por falta de piezas de repuestos para las máquinas y de insumos en general, la Imprenta Universitaria reduce considerablemente sus servicios, y deja de editar estos materiales, los cuales tuvieron un impacto altamente positivo en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física en las diferentes carreras de la UCLV.

En esta etapa se continuó investigando en metalurgia física y en temas didácticos y metodológicos asociados con la enseñanza de la Física. Al desaparecer la carrera de LF y surgir el CIS, la mayoría de los profesores del DF que investigaban en Física de los Metales se vincularon a los temas de investigación del CIS. Por ello, en los logros iniciales del CIS tuvieron una participación importante los profesores del DF [5,9]. Sin embargo, en general los resultados en ciencia y técnica del DF fueron discretos [8,10].

### **Consolidación del DF**

Al cerrarse la carrera de Física en 1985, los departamentos Física de los Metales (DFM) y de Física General (DFG) de

la Facultad de Química-Física, se integran y se constituye el DF [1]. En 1988 el DF se traslada a la Facultad de Matemática-Computación, surgiendo así la Facultad de Matemática, Física y Computación (MFC) de la UCLV.

En 1988 el profesor Eduardo Valencia Morales -graduado de LF en 1982 en la UCLV-, se traslada del CIS para el DF. En el CIS Valencia Morales investigaba, en colaboración con el Dr. Narciso José Galeano Sánchez, especialista del Departamento de Control de la Calidad de la Central Electronuclear (CEN) en construcción en Juraguá, Cienfuegos, en difusión de humedad en materiales. Al trasladarse para el DF Valencia Morales continúa con sus investigaciones en este tema y junto a algunos colegas del DF, que poseían intereses en Ciencia de Materiales, funda oficialmente en 1992 el Grupo de Física de los Materiales -hoy Ciencia de los Materiales (GCM)-. Fueron fundadores del grupo el MSc. Manuel Rodríguez González, los licenciados Jesús E. Hernández Ruiz y Carlos Alejandro Alfonso y Lázaro Pino Rivero (Lic. en Química) [7]. Años más tarde, se incorporan al grupo los licenciados Jorge Vega-Leiva y Ernesto Villar-Cociña. Este último, graduado de LF en la UCLV en 1983 y con formación en Física de los Metales. En 1993, Valencia Morales asesorado por Galeano Álvarez defiende su doctorado en Ciencias Físicas (especialidad Ciencia de los Materiales). Posteriormente lo harían en 2001 Rodríguez González, en Ciencias Técnicas y en 2005 Villar-Cociña en Ciencias Físicas (especialidad Ciencia de los Materiales) [7,11].

La asesoría de Galeano-Álvarez no se limitó a la formación doctoral de Valencia Morales, fue mucho más amplia, pues desarrolló una serie de seminarios e impartió varios postgrados, primero en la CEN y después en el DF, a los que asistían profesores del GCM. Entre otros cursos, pueden mencionarse los de Microscopia electrónica, Transformaciones de fase en metales y aleaciones, Difusión en metales y Tópicos avanzados de ultrasonido. Estos y otros cursos, que después desarrolló el ya doctor Valencia Morales, tuvieron un impacto significativo en la formación de los integrantes del núcleo primigenio del GCM [7].

En 1992, encontrándose ya como jefe del DF el Lic. Emilio Viamonte Fernández y por iniciativa de un grupo de profesores jóvenes del DF, se celebra por primera vez en la UCLV, el 14 de diciembre, el "Día de la Física". Este día se realizó la inauguración del Aula Especializada de Física "José Enrique Villar-Lorenzo". Esta celebración ha devenido en tradición, desde entonces, en ocasión del aniversario de la presentación ante la Sociedad Física Alemana por Max Planck en 1900 de su Teoría Cuántica de la Radiación. Cada año en el marco de las actividades por el Día de la Física se entrega la condición de Físico por Excelencia (inicialmente denominado Físico por Naturaleza), a personas, que sin ser físicos de profesión, hayan contribuido de alguna manera al desarrollo de la Física en la UCLV. Entre las personalidades que han recibido esta condición descollan el Dr. Juan Virgilio López-Palacios, quien es Doctor Honoris y Causa de la UCLV y Héroe del Trabajo de la República de Cuba, en reconocimiento a su destacado papel en la formación pedagógica de varias generaciones de profesores de física, y García-Cuevas, rector de la UCLV (1990-1996) por su aporte al desarrollo de las

ciencias y la investigación en esta institución, por su apoyo y estímulo, primero como rector y después desde la dirección del MES, al desarrollo de la Física durante esta etapa en el DF, y fundamentalmente para realizar la reapertura de la carrera de LF en 2005 [12]. Además, García-Cuevas siempre estuvo convencido de la importancia de las ciencias básicas para el desarrollo general de la ciencia y la técnica en el país y fue el principal impulsor de las investigaciones en la UCLV. A decir del profesor Duffus Scott, García-Cuevas fue “El rector de las Investigaciones”.

En 1992 se inicia como profesor del DF el Máster en Física Israel Quirós-Rodríguez, graduado de la Universidad Estatal M.V. Lomonosov de Moscú en 1989, con una fuerte formación teórica en Física y Matemática e intereses científicos bien definidos en Gravitación y Cosmología. Ya para finales de los 90 Quirós-Rodríguez ha obtenido sus primeros resultados, con publicaciones en revistas de la corriente principal de la Web of Science y en el año 2000, recibe el Premio Anual al Mérito Científico-Técnico y es electo joven investigador más destacado de la UCLV. En 1999 Quirós-Rodríguez, junto a los licenciados Rolando Cárdenas-Ortiz y Rolando Bonal-Cáceres, funda el Grupo de Gravitación y Cosmología (GGC). Después se integrarían al grupo, entre otros, los licenciados Tamé González Cruz, Yoelsy Leyva-Nodal y Osmel Martín González, así como varios estudiantes de Licenciatura en Matemática, los que se formaron en temas de Gravitación y Cosmología y al graduarse continuaron investigando en el GGC [13,14]. Obviamente, al reabrirse la carrera de LF en 2005, también se incorporarían a los temas de investigación del GGC estudiantes de la carrera.

Los profesores Quirós-Rodríguez y Cárdenas-Ortiz, sin tutoría alguna, defendieron sus doctorados en Ciencias Físicas, especialidad de Física Teórica en 2003 [15]. También defienden sus doctorados en esta misma especialidad Fernando de León-Pérez (2002) y Marlen Pérez-Díaz (2003), esta última investigando en Física Médica (FM), tema al cual también se han vinculado algunos profesores del DF.

Al crearse el GGC, ya existía el GCM y el Grupo de Enseñanza de la Física (GEF), que se dedicaba a las investigaciones en problemas didácticos y metodológicos y que, de una forma u otra, existió desde la época del DFG. De esta forma, aunque aún algunos profesores investigaban en temas dispersos, se había superado la etapa incierta en la investigación científica del DF, que se inició con el cierre de la carrera de LF, en la que predominó la dispersión en los temas de investigación de los profesores, y la inexistencia de grupos y líneas propias de investigación [7,8].

Los años del primer quinquenio del presente siglo se distinguen por los excelentes resultados que en el orden científico obtiene el DF. Entre estos resultados destacan Premios anuales al mérito científico-técnico de la UCLV, Premios Provinciales del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de manera ininterrumpida durante todo el quinquenio, Premio de la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) en 2003 al profesor Cárdenas-Ortiz y colaboradores, la Distinción Especial del Ministro de Educación Superior por la destacada labor investigativa al

profesor Quirós-Rodríguez también en 2003, la designación en 2004 de los profesores Quirós-Rodríguez y Cárdenas-Ortiz miembros del Tribunal Nacional de Grados Científicos de Ciencias Físicas [13,15], del cual ya Valencia Morales era miembro, y el desarrollo del Sistema Interactivo Didáctico para la Enseñanza de la Física (SIDEF) por el profesor Carlos Alejandro Alfonso y otros profesores del GEF [16]. El SIDEF, junto a un amplio conjunto de Applets, algunos de ellos desarrollados por miembros del GEF y al Sistema para la Enseñanza de la Física Asistido por Computadora (SEFISAC) creado por el MSc. Manuel García-Ramos (también profesor del DF y miembro del GEF), tuvieron un alto impacto en la enseñanza de la física en la UCLV. Ellos posibilitaron la realización de las prácticas de laboratorio en su variante virtual y después, cuando se restablecieron las condiciones en los laboratorios para la realización de las prácticas reales, continuaron empleándose como un medio auxiliar de apoyo a la docencia. Además, el SIDEF permitía el acceso al libro electrónico de Física General en tres tomos, de la autoría del profesor del DF y miembro del GEF Francisco Arturo Ruiz Martínez [3,4].

También como parte del quehacer científico de estos años, los profesores del DF participan en eventos, seminarios y otros intercambios científicos y académicos con otras universidades e instituciones extranjeras, logran insertarse en proyectos y redes de investigación nacionales e internacionales y publican un número considerable de artículos, fundamentalmente en revistas de la corriente principal de la Web of Science. Asimismo, como parte del intercambio científico y de la visibilidad lograda por el DF, se reciben varias visitas de personalidades extranjeras del mundo de los materiales y de la cosmología y la gravitación. Al mismo tiempo, profesores del DF visitan instituciones extranjeras, entre ellos Quirós-Rodríguez visita en 2002 al profesor Carl H. Brans de la Universidad Loyola y el laboratorio LIGO de Ondas Gravitacionales en Louisiana (EEUU), donde imparte la conferencia magistral “Quintaesencia y Ondas Gravitacionales” [13,15]. Además los profesos del DF son beneficiados con estancias postdoctorales, se adscriben a organizaciones internacionales, fungen como revisores por pares de revistas de la corriente principal y forman parte de los comités editoriales de algunas de estas revistas o de los comités científicos de eventos de primer nivel. En los resultados en ciencia y técnica que se obtienen en estos años tuvo una incidencia fundamental Valencia-Morales, quien asume en 1995 la jefatura del DF. Su dirección (1995-2006) se distinguió por concederle una alta prioridad al trabajo científico de los profesores, y por la descentralización de las tareas docentes en los Colectivos de Disciplina de Física para cada una de las facultades y carreras, otorgándole además, plenos poderes a los jefes de estos colectivos [7].

En este periodo se logra sistematizar el acceso a la radio y televisión, destacándose el proyecto comunitario televisivo “Eureka”, coordinado por el profesor MSc. Víctor M. Mujica-Marcelo [12] de divulgación de la Física de forma amena y sencilla. En el ámbito nacional, en diciembre de 2004 la participación de Quirós-Rodríguez en el programa televisivo “Pasaje a lo Desconocido”, titulado “El sueño de

Einstein”, que versó sobre la Teoría de Cuerdas [13].

De la prensa escrita sobresalen, la publicación por el New York Times en 2001 de la opinión de Quirós-Rodríguez sobre el papel de los archivos “arxiv” del National Laboratory of Los Álamos en los resultados de sus investigaciones [17], la publicidad que ofrece la revista estadounidense Foundry Management and Technology a Valencia-Morales y otros profesores del GCM en su sección “Scanning the Globe for Casting Research” por sus trabajos en la difusión de humedad en materiales de fundición [18] y en 2004 la publicación en Scientific American del artículo Cosmology Scaled-Up Darkness: Could a single dark matter particle be light-years wide?, que describe cómo estos temas son debatidos en el I International Workshop on Gravitation and Cosmology celebrado en Santa Clara [19].

Todo esto tiene lugar en un momento crítico de las relaciones EEUU-Cuba debido al recrudecimiento del Bloqueo Económico, Comercial y Financiero impuesto por el gobierno de los EEUU contra Cuba y particularmente, cuando la Secretaria del Tesoro de los EEUU señala a la comunidad científica norteamericana que mantiene relaciones con científicos cubanos y le prohíbe a sus editoriales publicar artículos científicos procedentes de Cuba y otros países [20].

### III. UNA NUEVA ERA PARA LA FÍSICA EN LA UCLV (2005-PRESENTE)

#### Reapertura de la carrera de Física de la UCLV

La reapertura de la carrera de LF de la UCLV en septiembre del 2005 fue un reconocimiento al arduo trabajo del colectivo del DF, fundamentalmente de los resultados obtenidos en los inicios del presente siglo en la formación doctoral y en ciencia y técnica.

La carrera de LF, desde su reapertura hasta el presente, posee una baja matrícula. Sus estudiantes proceden de la región central del país y la mayoría en el primer año demuestran un rendimiento muy bajo. Sin embargo, los que promueven generalmente muestran buen desempeño en los años superiores [21]. Con el propósito de incrementar la motivación de los estudiantes de preuniversitario por la carrera de LF y la calidad del ingreso, el DF ha desplegado varias iniciativas, entre ellas sobresale la Copa de Física Inter-Preuniversitarios “Abel Santamaría Cuadrado”, la cual con frecuencia anual se efectúa desde 2014. Los ganadores en esta copa tienen garantizado su ingreso directo a la carrera de LF. También se destaca el trabajo con el duodécimo grado del Colegio Universitario de Formación Básica (CUFB). Además, existe un plan de acciones integradas en la Estrategia de Orientación Vocacional y Profesional de la carrera que incluye entre otras actividades: visitas a los preuniversitarios, charlas y conversatorios con los estudiantes de estas instituciones, programas radiales y televisivos e intercambios con los potenciales y futuros empleadores de los graduados de LF para imponerlos del papel que puede desempeñar un físico en la producción y los servicios [22].

Del 2010 al presente han egresado 54 Licenciados en Física [23],

con un perfil orientado a las Ciencias Planetarias, (incluidas la Cosmología y Gravitación), a la Ciencia de Materiales y a la FM. De los egresados, 4 son extranjeros y 21 se han ubicado como profesores del DF, lo cual ha permitido la sostenibilidad del claustro. Sin embargo, de ellos solo 5 (23,8 %) permanecen en el claustro. En la mayoría de los casos, después de cumplir el servicio social o el período de adiestramiento, han optado por becas en el extranjero y/o han emigrado, fenómeno que está afectando sensiblemente el rejuvenecimiento y la propia sostenibilidad del claustro.

Desde 2013 en que se inician, primero las Olimpiadas Nacionales Universitarias de Física (ONUF) y después, las Olimpiadas Latinoamericanas Universitarias de Física (OLUF), estudiantes de la UCLV, entrenados por el MSc. René Manso Montenegro del DF, han participado en estas lides y obtenido resultados discretos, con 5 bronces y 3 menciones, distribuidos en distintos años, además de un Oro en 2016 [20].

La carrera de LF ostenta la condición de Certificada, otorgada por la Junta de Acreditación Nacional en 2016. Según el informe de los evaluadores externos, fueron varios los elementos que aportaron a este resultado [24]. Entre ellos, que la carrera posee adecuada infraestructura para el desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje. En este logro incidió significativamente la labor realizada entre 2008 y 2012 por el profesor Mujica Marcelo y los técnicos en el rescate de los laboratorios del DF, en el montaje y puesta a punto del nuevo equipamiento adquiridos con el crédito de la República Popular China, y en el montaje de los laboratorios y de las aulas-laboratorios de Física.

#### El DF de estos tiempos

Hoy, el DF tiene la misión de formar Licenciados en Física, realizar investigaciones de primer nivel que garanticen la sostenibilidad de la carrera y ofrecer la prestación de servicios de física a las ciencias naturales y exactas, técnicas y agrícolas de la universidad. A pesar de lo reducido del claustro actual, en el segundo quinquenio del 2000 y hasta hoy día, el DF continúa obteniendo muy buenos resultados. Entre estos destacan la sostenibilidad de las publicaciones en las revistas de la Web of Science, la superación y formación doctoral del claustro y en general los resultados en el trabajo metodológico y en ciencia y técnica.

Del 2006 al presente, diez de los integrantes del claustro defienden sus doctorados y el Dr. Cárdenas-Ortiz obtiene exitosamente su Doctorado en Ciencias en 2019 [25].

En estos años, además de los jefes ya citados, el DF ha sido dirigido por siete de sus profesores y en el curso 2010-2011 el Dr. Jesús Hernández-Ruiz se desempeñó como decano por sustitución de la Facultad de MFC.

Como premio a los resultados en esta etapa, se distinguen el otorgamiento de la Distinción Especial del Ministro de Educación Superior por la destacada labor investigativa a Quirós-Rodríguez (2007), Valencia Morales (2008), Cárdenas Ortiz (2017, 2020) y Hernández Ruiz (2022), en este último caso, por sus resultados y la destacada labor educativa, docente y metodológica. También la condecoración con la Orden Carlos J. Finlay que otorga el Consejo de Estado de

la República de Cuba a los profesores Valencia Morales (2011) y Cárdenas Ortiz (2014) y la elección de este último como Académico Titular de la ACC en 2018. Asimismo, se obtienen Premios CITMA Provincial en todos los años y ocho Premios de la ACC.

Además, sobresale la participación de miembros del DF como profesores e investigadores visitantes de prestigiosas instituciones y universidades de Europa, África y América Latina y la realización de estancias postdoctorales de varios de ellos. Asimismo, varios de los profesores del DF se adscriben a redes, proyectos y como miembros de organizaciones y asociaciones internacionales, fungen como árbitros de revistas de la Web of Science y forman parte de sus comités editoriales y de los comités científicos y/o de organización de prestigiosos eventos internacionales.

En 2011 ya varios de los integrantes del GGC no se encuentran en el DF y Cárdenas Ortiz, líder del grupo para ese entonces, motivado por la diversificación de las investigaciones y el grado de interdisciplinariedad alcanzado, renombra el grupo, como Laboratorio de Ciencia Planetaria (LCP). El LCP produce un cambio significativo en la matriz de investigaciones y centra sus actividades en la modelación matemática de procesos y entornos naturales [15].

En 2006 se celebra en la UCLV con el coauspicio del ICTP y del CLAF, el II International Workshop on Gravitation and Cosmology [15]. Como continuidad de los eventos de cosmología y gravitación; y respondiendo a la nueva matriz de investigación del naciente LCP, con frecuencia bianual desde 2013 al 2019 este laboratorio organiza correspondientemente la I, II, III y IV Conferencia Internacional de BioGeoCiencias. Estos eventos han reunido a importantes científicos planetarios, astrobiólogos y ambientalistas; y poseen sus Proceedings publicados por Springer Nature, en los cuales fungen como editores Cárdenas Ortiz y Martín González, del DF [15].

En 2015, en ocasión del Día Mundial del Medio Ambiente, el 5 de junio, y a propuesta del DF, se le otorga el Título de Doctor Honoris Causa en Ciencias Físicas de la UCLV al meteorólogo Dr. José Rubiera-Torres.

Para su trabajo docente metodológico, el DF está estructurado en colectivos de física para cada una de las facultades a las que presta servicios y el colectivo de carrera, el cual desde el 2005 hasta el presente ha sido conducido por cinco de los profesores del DF.

Los estudiantes de la carrera de LF realizan su trabajo científico vinculados al LCP y al GCM bajo el liderazgo científico de Cárdenas-Ortiz y Valencia-Morales respectivamente, así como en FM con la asesoría del MSc. Waldo José Echevarría Torres del DF y de Pérez-Díaz, quien fuera profesora del DF y actualmente labora en la Facultad de Eléctrica de esta propia Universidad, y colabora con el DF asesorando estudiantes con intereses en FM y en la docencia de asignaturas optativas de esta línea de investigación. Además, los estudiantes de la carrera de LF se vinculan a los proyectos de investigación nacionales e internacionales en que participan sus profesores y se

encuentran en la base de la pirámide científica del trabajo de investigación que ellos desarrollan, en el que además se insertan los estudiantes de la Maestría en Ciencias Físico y Matemáticas Aplicadas y del Programa Doctoral en Ciencias Físico Matemática, cuyos coordinadores son los profesores del DF Villar-Cociña (y a partir de diciembre del 2022 Villegas-Villegas) y Cárdenas-Ortiz, respectivamente.

La productividad científica del DF se sostiene gracias al esfuerzo de los líderes científicos y de la mayoría de sus profesores, los que no solo garantizan la productividad científica del DF, sino también la docencia de pre y postgrado y el amplio trabajo extensionista y de orientación vocacional y profesional que hoy día desarrolla este colectivo.

#### IV. CONCLUSIONES

Los años iniciales del DF se caracterizaron por el arduo trabajo metodológico de los colectivos de Física General y Experimental para la docencia de física a las carreras de ciencias naturales y exactas, técnicas y agrícolas de la UCLV y de formación básica de profesores noveles, mayoritariamente de formación ingenieril, así como por discretos resultados en ciencia y técnica, fundamentalmente vinculados al quehacer científico del CIS.

Los resultados científicos del DF en los años iniciales del presente siglo, fundamentalmente en Gravitación y Cosmología y Ciencia de Materiales, donde jugó un papel fundamental el liderazgo científico de los profesores Valencia-Morales y Quirós-Rodríguez, contribuyeron significativamente a la reapertura en 2005 de la carrera de LF.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todos aquellos que accedieron a ser entrevistados para la recolección y contrastación de la información, sin cuyos aportes no hubiere sido posible la escritura de esta historia.

#### REFERENCIAS

- [1] J. E. Hernández y A. Duffus Scott, *Rev. Cub. Fís.* **39**, 121 (2022).
- [2] J. L. García Cuevas, Comunicación privada vía correo electrónico, enero 24, 2022.
- [3] M. García-Ramos, Entrevista efectuada por los autores, 2017.
- [4] F. A. Ruiz-Martínez, Entrevista efectuada por los autores, 2017.
- [5] J. V. Lorenzo-Ginori, Entrevista efectuada por los autores, 2018.
- [6] C. de la C. Rodríguez-Fadragas, Entrevista efectuada por los autores, 2018.
- [7] E. Valencia Morales, Entrevista efectuada por los autores, 2018.
- [8] E. J. Viamonte-Fernández, Entrevista efectuada por los autores, 2018.

- [9] CIS. UCLV, Libro de Resúmenes del Primer Simposio de Soldadura, 1988.
- [10] Vicerrectorado de Investigaciones y Posgrado. UCLV, Reportes de aplicación 1985-1990.
- [11] E. Villar-Cociña, Entrevista efectuada por los autores, 2018.
- [12] V. M. Mujica-Marcelo, Entrevista efectuada por los autores, 2017.
- [13] I. Quiroz-Rodríguez, Entrevista efectuada por los autores, 2018.
- [14] T. González-Cruz, Entrevista efectuada por los autores, 2018.
- [15] R. Cárdenas-Ortiz, Entrevistas efectuada por los autores, 2018 y 2020.
- [16] C. A. Alejandro-Alfonso y J.M. Perdomo Vásquez, QuadernsDigitals.net Nro. 35..
- [17] J. Glanz, New York Times, May 1st 2001.
- [18] E. Valencia-Morales, E. Villar-Cociña, J.E. Hernández-Ruiz, J. Vega-Leiva, Foundry Man. & Technol. 129, 58 (2001).
- [19] G. Musser, Sci. Am. 287, 26 (2004).
- [20] A. Rivera, El País, Febrero 24, 2004. ([https://elpais.com/diario/2004/02/24/sociedad/1077577202\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2004/02/24/sociedad/1077577202_850215.html)).
- [21] Secretaria Facultad MFC. UCLV, Reporte de eficiencia vertical de la carrera de LF, 2022.
- [22] R. Manso Montenegro, Entrevista efectuada por los autores, 2018.
- [23] Secretaria General. UCLV, Libro de registros de Graduados 2010-2018.
- [24] Comisión de evaluación externa, Informe sobre el proceso de evaluación y acreditación de la carrera de Licenciatura en Física de la UCLV, 2015.
- [25] Dirección de Posgrado. UCLV, Registro de Doctorados en formato digital, 2022.

---

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.



## ESTAMOS DENTRO DEL SELECTO GRUPO DEL 15 %: NUESTRA REVISTA YA TIENE FACTOR DE IMPACTO.

Si visitamos el sitio de Clarivate, que publica los muy conocidos Journal Citation Reports (incluyendo los célebres Factores de Impacto), leemos que:

“Al expandirse el Factor de Impacto al “Índice de citas en las Artes y las Humanidades” (AHCI) y al “Índice de Citas de Fuentes Emergentes” (ESCI), más de 9000 revistas de más de 3000 editoriales tienen hoy día un Factor de Impacto por vez primera. [...] Para ello se seleccionaron sólo revistas que han superado los 24 rigurosos criterios de calidad aplicados para la evaluación. Sólo el 15 % de las revistas evaluados por nuestro team editorial pasaron esta barrera de calidad.”

### La Revista Cubana de Física ha quedado dentro de ese 15 %.

Creemos que es un éxito nada despreciable, especialmente en estos tiempos donde abundan las revistas predatoras y los índices-H “inflados con anabólicos”, ayudados por la inteligencia artificial en manos inescrupulosas. Este logro ha sido el resultado de muchos años de trabajo de generaciones de físicas y físicos, manteniendo nuestra revista más allá de los llamados “modelos de negocios”. Lamentablemente, algunos de los responsables no disfrutarán de esta parte del éxito de su trabajo, como la ex-directora de la RCF Amelia Martín, que

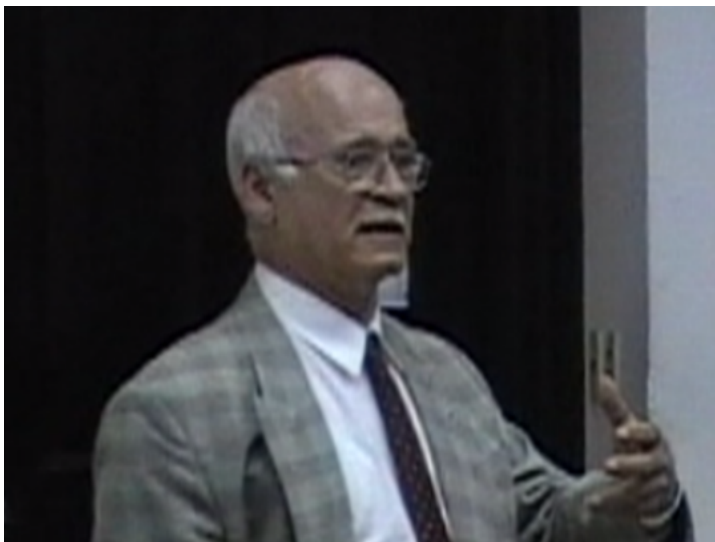
ha fallecido apenas unos días antes de hacerse pública la lista de Clarivate.

En estos momentos, la Revista Cubana de Física tiene un modesto (pero no infinitesimal) factor de impacto de 0.2. Como referencia, se pueden tomar los factores de impacto 2022 de las siguientes revistas: Turkish Journal of Physics (2.1), Revista Mexicana de Física (1.7), Brazilian Journal of Physics (1.6), Jordan Journal of Physics (0.7), Russian Physics Journal (0.6), Ukrainian Journal of Physics (0.5), East European Journal of Physics (0.4), Revista Cubana de Física (0.2), Jurnal Fisik Malaysia (0.2), International Journal of Mathematics and Physics (<0.1).

Posiblemente, aún más importante que el factor de impacto, es el factor de impacto de 5 años, que para la RCF es hoy de 0.3. Insistimos en que se trata de un éxito colectivo que nos compromete a seguir incrementando la calidad de los materiales que publicamos: en definitiva, eso es lo que merece una comunidad de físicas y físicos haciendo ciencia en muy difíciles condiciones.

*Evelio Ramírez-Miquet, Ernesto Altshuler*

## EL ESPÍRITU DE ABDUS SALAM LLEGA AL CARIBE



Hugo, durante una charla en la Universidad de La Habana, en 2009 (Foto: E. Altshuler).

La familia del premio Nobel de Física Abdus Salam ha instaurado el premio “The Spirit of Abdus Salam”, que se anuncia anualmente en ocasión de las “ICTP Salam Distinguished Lectures”, coincidentes con la fecha de nacimiento del reconocido físico, el 29 de enero. Se ha concebido para recordar no sólo los logros científicos de Salam, sino su espíritu humanitario y el haber sido artífice principal del ICTP, que a tantas generaciones de físicas y

físicos del mundo en desarrollo ha beneficiado, especialmente en Cuba. No es pues, de extrañar, que en enero de 2023 la distinción haya sido recibida por el doctor Hugo Pérez-Rojas: un físico cubano con un larguísimo historial de pasión por la física, que ha sistemáticamente contribuido –muchas veces con el apoyo del ICTP– a desarrollar la Física en Cuba. ¡Enhorabuena, Hugo!

Para más detalles, se puede indagar en <https://www.ictp.it/prize/spirit-abdus-salam-award>.

*E. Ramírez-Miquet, E. Altshuler*

---

## CELÉBRASE FERIA INTERCIENCIA EN EL ICIMAF



"Invasión científica": Cerca de las 10 AM del 10 de diciembre de 2022, el público comenzó a traspasar el bello umbral del entrada del ICIMAF (Foto: E. Altshuler).

El sábado 10 de diciembre de 2022 se celebró la Feria "Interciencia" en el Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF).

En el evento, abierto para todo el público, se ofrecieron charlas y se realizaron demostraciones en áreas de la ciencia que incluyeron la Física, la Cosmología, y la Inteligencia Artificial. Hubo una participación sustancial de público, especialmente estudiantes de preuniversitario. Desde el mismo umbral, el público fue motivado mediante un sencillo experimento que ilustraba la utilidad de la Inteligencia Artificial.

*E. Altshuler*

---

## SABER UH: PRIMER ENCUENTRO DE ESTUDIANTES DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y TÉCNICAS



Saber UH: Algunos de los participantes en la Comisión de Física, dentro del Primer Encuentro de Estudiantes de Ciencias Naturales, Exactas y Técnicas (Foto: cortesía del CEADEN).

Dentro de las actividades de la convención internacional SABER UH (Universidad de La Habana 29 de mayor-2 de junio de 2023) se realizó el Primer Encuentro de Estudiantes de Ciencias Naturales, Exactas y Técnicas. Entre las subcomisiones había una de Física, donde presentaron trabajos científicos estudiantes del La Facultad de Física de la Universidad de La Habana, el Instec y otros centros docentes, que trabajan científicamente en esas y otras instituciones, como el ICIMAF.

*E. Altshuler*

---

## NANOCIENCIA EN EL CEADEN

El seminario "Nanos: Síntesis, Caracterización y Evaluaciones Toxicológicas" tuvo lugar el 19 de junio de 2023, organizado por el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), con la participación de especialistas de la Facultad de Biología de la Universidad de la Habana y del Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR).

Se abordaron los aspectos de obtención de nanomateriales de carbono, su caracterización y sus aplicaciones biomédicas. Además, se le brindó especial atención a los temas de las evaluaciones toxicológicas de estos materiales.

Entre las presentaciones que tuvieron lugar en la Casa de la Amistad estuvieron la Convergencias de tecnologías avanzadas, Nanogeles sintetizados por irradiación como sistema perspectivas para su uso biomédico (Nanogemes de PVP), Grafeno y óxido de grafeno: síntesis y aplicaciones, Actividad antimicrobiana de puntos cuánticos de carbono, Toxicidad de nanocompuestos de carbono en líneas celulares, Adsorción del colorante rojo neutro sobre nanocollas de carbono: interferencia en ensayo de viabilidad y caracterización de aducto, y Bioseguridad en el trabajo con nanopartículas.



Saber UH: Algunos de los participantes en la Comisión de Física, dentro del Primer Encuentro de Estudiantes de Ciencias Naturales, Exactas y Técnicas (Foto: cortesía del ICIMAF).

El seminario se realizó en el marco del proyecto "Estudio in vitro e in vivo de nanopartículas de carbono y poliméricas para aplicaciones biomédicas", coordinado por la Dra. Marioly

Vernhes-Tamayo, del CEADEN, y en el que participan además el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), el Centro de Estudios de Avanzados (CEA), el Centro para el Control Estatal de Medicamentos, Equipos y Dispositivos

Médicos (Cecmed) y el INOR.

Modificado de: <https://www.facebook.com/ceaden1987/>

*G. Rojas-Lorenzo*

---

## ESTRECHANDO RELACIONES CON LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE FÍSICA MÉDICA

El editor de la Revista Cubana de Física y la Presidenta de la Asociación Latinoamericana de Física Médica (ALFM), Dra. Patricia Mora, firmaron un Memorándum de Acuerdo de Cooperación el 22 de junio de 2023.

El memorándum recoge la intención de realizar varias acciones para profundizar los vínculos de la ALFM con la

Revista Cubana de Física. Entre ellos, está la inclusión de editores especializados en temas de Física Médica dentro de nuestra revista, así como de varios árbitros expertos en la materia, y el envío sistemático de artículos sobre el tema en las diversas secciones de la revista, así como noticias relevantes.

*G. Rojas-Lorenzo*



## DIGAMOS ADIÓS A UNA EXDIRECTORA DE NUESTRA REVISTA



Amelia Martín-Rodríguez (13 de septiembre de 1950 – 23 de junio de 2023)

El 23 de junio de 2023 falleció la licenciada en Física Amelia Margarita Martín-Rodríguez. Había nacido en La Habana el 13 de septiembre de 1950. Era hija del compositor y musicólogo Edgardo Martín y de la profesora de física de Secundaria Básica Aida Rodríguez, que incentivó a muchos alumnos a estudiar la carrera de Física en la Universidad de La Habana. Estudió en la Secundaria Básica “José Luis Arruñada”. Participó tempranamente en concursos de Física, entre ellos uno muy popular en la televisión. Desde 1968 hasta 1973 cursó la Licenciatura en Física en la Universidad de La Habana. Cumplió su Servicio Social impartiendo clases en el Pre-universitario “José Maceo” en la entonces Isla de Pinos (Hoy Isla de la Juventud). Durante muchos años, se desempeñó como docente en el Departamento de Física del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”,

actual Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). Impartió sus clases de Física, principalmente en las facultades de ingeniería Eléctrica e Ingeniería Mecánica. Divulgó en el Dpto. de Física temas poco conocidos y ausentes en los planes de estudio como la Dinámica no Lineal y la geometría fractal. Se destacó por su elegancia en el trato, algo que se extendía a su desempeño ante el alumnado.

Desarrolló una labor de trascendental importancia en la preparación, organización y promoción de la Revista Cubana de Física, siendo directora de la misma desde 1987 hasta 2005. Además, representó a la Sociedad Cubana de Física en eventos latinoamericanos. Trabajó de forma consagrada para mantener y desarrollar un espacio donde los físicos e ingenieros cubanos pudieran publicar sus investigaciones y resultados, y durante mucho tiempo almacenó en su propia casa un gran número de ejemplares de la revista para su conservación.

Su esfera del conocimiento se extendía desde la música (era capaz montar las voces para un coro) hasta los idiomas, dada su capacidad para comunicarse perfectamente en inglés y francés. De hecho, promovió entre sus alumnos la realización de seminarios en idioma inglés.

Sus colegas y amistades –a quienes solía recibir en su vivienda de Nuevo Vedado, en La Habana– nunca olvidarán a aquella persona afable y ocurrente que combinaba armoniosamente su pasión por la Física con la afición por el cine, el teatro y la música.

Amelia falleció en Estados Unidos el 23 de junio de 2023.

*Victor Fajer-Ávila (Sociedad Cubana de Física)*

*Carlos A. Osaba-Rodríguez (CUJAE)*

*Adriana Mavilio-Núñez (CUAJE, Prof. Retirada)*

*María Elena Montero-Cabrera (CIMAV, México)*

*Juan J. Llovera-González (CUJAE)*

## NOS DEJA UN FUNDADOR DE LA FACULTAD DE FÍSICA



Miguel Ramos-Vázquez (20 de septiembre de 1947 – 10 de marzo de 2023), en la extrema derecha de la foto, durante el SLAFES'75. (Foto: Cortesía de M. Sánchez-Colina)

Nacido el 20 de septiembre del 1947 en La Habana en el barrio de Miramar, Miguel de Jesús Ramos-Vázquez era descendiente de una familia española formada por el matrimonio de Dolores y Manuel. El cordial y jaranero vecino –del cual apenas quedó excluida vecina de sus respetuosos halagos– decidió brindar su granito de arena incorporándose a la docencia universitaria desde los años 60, en vez de sumarse a la ola migratoria en la que tomaron parte muchos de sus amigos y vecinos. De hecho, cursó la licenciatura en Física en la Universidad de La Habana, allá por los primeros años 1960's. Era el más joven de su grupo. Muy serio y dedicado, sobresalió tanto académicamente –aun siendo compañero de curso de personalidades como Melquiades de Dios Leyva– que fue el primer seleccionado para ser profesor de la recién

instituida facultad de Física. De hecho, se incorporó al claustro de la Universidad de La Habana con fecha 1ro de mayo del año 1966. Desde entonces, dedicó su vida con humildad a la magna obra del magisterio, y a la familia. Aunque Miguel Ramos participó en todas las actividades académicas que se esperan de un profesor universitario, incluyendo la investigación científica, será recordado por generaciones de alumnos como un excelente profesor de temas que abarcan desde la mecánica teórica, hasta las ecuaciones diferenciales. Justamente, su talento para enseñar resultó en varios textos que sobresalen por su orden y extraordinaria claridad. En sus clases no faltaba el fino humor y la ironía. “El receso de cinco minutos” –solía decir– está definido por el tiempo en que demoro en fumarme este cigarro”. No le faltaron propuestas para quedarse en el exterior, o irse definitivamente de Cuba como profesor o realizando otras actividades, pero con su sencillez característica declinó una y otra vez. Cuando hablamos aquí de humildad o sencillez, nos referimos a la virtud del alma humana, algo a veces escaso. Lamentablemente, la vida de Miguel Ramos se vio tocada por serios problemas de índole familiar, a los que dedicó devotamente los últimos años de su vida, en medio del progresivo deterioro de su propia salud. Sus compañeros de trabajo, antiguos alumnos y amigos lo recordamos y extrañamos como un profesor de Física de pura cepa, y ser humano imprescindible.

*MSc. Fernando Ramón Romeu Caignet*

*CEAP, INSTEC, Universidad de La Habana*

*Dr. E. Altshuler*

*Facultad de Física, Universidad de La Habana*

*(Se agradecen informaciones y opiniones brindadas por los profesores de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana Melquiades de Dios, Carlos Rodríguez, María Teresa Pérez, Julio Vidal y Leovildo Diago)*

## NUESTRA CIENCIA DE MATERIALES PIERDE A UNO DE SUS ARTIFICES



Francisco Cruz Gandarilla (8 julio 1951 - 18 junio 2023). De izquierda a derecha: Paco, Alberto Serra, Carmen Roure y Eugenia Dolores Ruiz Cruz (Lola). (Miami, abril de 2022).

Paquito o Paco, como todos le llamábamos, tenía al fallecer 72 años. Su padre, Francisco Cruz, era un hombre recto pero afable y conversador, republicano español que tuvo que huir a Cuba pues combatió contra el franquismo, tenía estudios de medicina inconclusos. Su madre, María Emelia Gandarilla, era descendiente de un prominente abogado y político de la región oriental que propiciaron un ambiente de buena educación. Cursó el preuniversitario en el instituto de Ayesterán. Ingresó en la Escuela de Física de la Universidad de La Habana en 1970, cursando estudios en las mañanas y trabajando en las tardes. Trabajó en el Dpto. de Metales de la Escuela, que radicaba en los bajos del edificio de la actual Facultad de Biología, donde realizó su primer trabajo de investigación como estudiante y presentó en jornadas científicas. Se vinculó a la docencia desde bien temprano como alumno ayudante en el laboratorio de Física General que dirigía el Ingeniero Orlando Durán, al cual admiraba y del que fue su amigo, al punto de salir juntos a eventos culturales. Desde entonces la docencia y la investigación formaron parte indisoluble de su vida académica. Fue un alumno brillante, graduándose en 1974. Por su calidad, realizó el servicio social en el centro de investigaciones del petróleo, pero su interés estaba en realizar investigaciones en el Dpto. de Metales, lo cual logró. Se especializó en Difracción de Rayos X, Cristalografía, Microscopía Electrónica, enfocando su investigación en temas de análisis de texturas en aleaciones

metálicas. Se doctoró en el año 1991 en la Universidad de La Habana. Publicó más de 60 artículos sobre estos temas en revistas de alto nivel, participó en diferentes eventos en Cuba y en el extranjero y dictó un número importantes de cursos de pregrado y posgrado. Si algo distinguía a Paco fue su incansable tozudez en cualquier tarea que se proponía. Su obra magna en la facultad fue el diseño y dirección de la construcción del laboratorio de estructura (contra viento y marea) que realizó, hasta el milímetro, basado en sus amplios conocimientos. Gracias a su formación en las técnicas metalúrgicas, resolvió satisfactoriamente problemas en la producción y los servicios, como los defectos de las obleas que mediante extrusión constituían el recipiente de las baterías alcalinas, que bajo la marca “Yara”, se fabricaban en Cuba. También abordó el problema de las puntas del equipo de litotricia del hospital “Hermanos Amejeiras” junto con otros investigadores de la facultad de química de la Universidad de La Habana. En términos de colaboración internacional, desarrolló una actividad científica relevante, destacando particularmente sus visitas en los años 80 a la Universidad Técnica de Dresde (antigua RDA) y sus relaciones ininterrumpidas, hasta la fecha, con la Universidad de Paris Sud en Francia. En 1997 se radicó en Ciudad de México y desde 1999 trabajó en el Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Físicas y Matemáticas, impartiendo docencia de post grado y tutorías en su especialización. Siempre conservó su preocupación por mantenerse al mayor nivel científico, a pesar de que en los últimos años padecía una dolorosa enfermedad. Fue un gran amigo y una gran persona. Tenía defectos, como todo ser humano, que no opacaban sus virtudes. Ayudó a todo el que pudo. Deja una viuda, Lola, que es médico y que lo acompañó durante toda la dolorosa travesía de su enfermedad. Lastimosamente, no tuvo descendencia.

*Santiago Bahamonde*

*Alberto Serra*

*José Ramón Quiñones*

*Arbelio Pentón*

*Facultad de Física, Universidad de La Habana*



