

FÍSICA

REVISTA CUBANA DE FÍSICA

FÍSICA

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

Vol.40 No.2
DICIEMBRE, 2023



**CONVIRTIENDO LOS *COFFEE BREAKS*
EN CIENCIA**

Portada: Trayectorias de los participantes en el "ICTP School on Collective Animal Behaviour" (La Habana, 13-24 de noviembre de 2023) caminando del teatro a las mesas del coffee break. (ver sección de noticias).

EDITOR

E. ALTSHULER
Facultad de Física, Universidad de La Habana,
ealtshuler@fisica.uh.cu

EDITOR EJECUTIVO

E. RAMÍREZ-MIQUET
ermiquet@gmx.com

EDICIÓN ELECTRÓNICA

A. C. IGLESIAS-JAIME,
CUJAE, La Habana
iglesiasa692@gmail.com

M. ESPINOSA
Royal Melbourne Institute of Technology,
Australia,
marcos.espinosa.cuertas@rmit.edu.au

EDITORES ASOCIADOS

O. ALMORA
Universitat Rovira i Virgili
almora@uji.es

A. J. BATISTA-LEYVA
Instec, La Habana
abatista@instec.cu

W. BIETENHOLTZ
UNAM, México
wolbi@nucleares.unam.mx

J. O. FOSSUM
NTNU, Noruega
Jon.fossum@ntnu.no

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

L. H. GREENE
National Magnetic Lab, U.S.A.
lhgreene@magnet.fsu.edu

J. LLOVERA
CUJAE, La Habana
llovera@electronica.cujae.edu.cu

O. de MELO
Facultad de Física, Universidad de La Habana
omelo@fisica.uh.cu

O. MULET
Facultad de Física, Universidad de La Habana
mulet@fisica.uh.cu

P. MUNÉ
Facultad de Ciencias, Universidad de Oriente
mune@cmt.uo.edu.cu

T. POESCHEL
University Erlangen-Nuremberg
thorsten.poeschel@fau.de

G. ROJAS-LORENZO
Instec, La Habana
german@instec.cu

T. SHINBROT
Rutgers University
shinbrot@soemail.rutgers.edu

C. A. ZEN-VASCONCELOS
Univ. Federal Rio Grande do Sul
cesarzen@cesarzen.com

TODOS LOS ARTÍCULOS EN FORMATO-e:
www.revistacubanadefisica.org

COORDENADAS

- 67 EL MAESTRO MANUEL F. GRAN, EN EL CENTENARIO DE SU INCORPORACIÓN AL CLAUSTRO UNIVERSITARIO**
[PROFESSOR MANUEL F. GRAN, A HUNDRED YEARS SINCE HIS INCORPORATION TO THE UNIVERSITY STAFF]
J. ALTSHULER

ARTÍCULOS ORIGINALES

- 69 CITY PATH TOMOGRAPHY: RECONSTRUCTING SQUARE ROAD NETWORK FROM ARTIFICIAL USER'S MOBILE DATA**
[TOMOGRFIA DE TRAYECTORIAS: RECONSTRUYENDO UNA RED CUADRADA DE CALLES A PARTIR DE DATOS DE USUARIOS ARTIFICIALES DE TELEFONÍA]
A. RODRÍGUEZ-LORENZO, A. LAGE-CASTELLANOS

- 75 MALUS' LAW REVISITED**
[LA LEY DE MALUS, REVISITADA]
V. IVCHENKO

- 78 MODIFICATION OF SUGARCANE BAGASSE DERIVATIVES WITH SUPERPARAMAGNETIC IRON OXIDE NANOPARTICLES, FOR THE EXTRACTION OF HYDROCARBONS**
[MODIFICACIÓN DE DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE HIERRO SUPERPARAMAGNÉTICAS, PARA LA EXTRACCIÓN DE HIDROCARBUROS]
S. ALBUERNE-TORRES, O. GARCÍA-ZALDÍVAR, A. ÁLVAREZ-DELGADO, A. BROWN-GÓMEZ, P. ARANDA, E. RUIZ-HITZKY, Y. GONZÁLEZ-ALFARO

- 85 INFLUENCE OF THE DIP AND SPIN COATING METHODS ON THE SEEDING FOR THE GROWING OF CuO NANORODS BY A HYDROTHERMAL TECHNIQUE**
[INFLUENCIA DE LOS MÉTODOS DE INMERSIÓN Y CENTRIFUGADO EN LA DEPOSICIÓN DE SEMILLAS PARA EL CRECIMIENTO DE NANOBARRAS DE CuO POR UNA TÉCNICA HIDROTHERMAL]
S. FORTUNÉ-FABREGAS, J. BENAVIDES, A. M. DÍAZ-GARCÍA, Y. GONZÁLEZ, A. RUDIGER, L. VAILLANT-ROCA

- 90 EFFECTIVENESS OF FLIP—FLOP OPTIC DEVICES BASED ON PROBLEM-BASED LEARNING ASSISTED WITH VIRTUAL LABORATORY SIMULATION TO IMPROVE HIGH SCHOOL STUDENTS' VISUAL REPRESENTATION**
[LA EFECTIVIDAD DE DISPOSITIVOS ÓPTICOS FLIP-FLOP BASADOS EN EL APRENDIZAJE EN BASE A PROBLEMAS ASISTIDO CON SIMULACIÓN DE LABORATORIO VIRTUAL PARA MEJORAR LA REPRESENTACIÓN VISUAL DE LOS ESTUDIANTES DE SECUNDARIA]
R. SEBASTIAN, H. KUSWANTO, J. JUMADI, N. A. PUTRI-HAPSAR

- 98 EL MÉTODO CIENTÍFICO, LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y SU ENTRENAMIENTO EN LAS CARRERAS DE INGENIERÍA**
[THE SCIENTIFIC METHOD, PROBLEM RESOLUTION AND ITS TRAINING IN ENGINEERING CAREERS]
F. REPILADO, M. FERNÁNDEZ, B. REY, L. AMAYA

MOMENTOS DE LA FÍSICA EN CUBA

- 104 A NEW 50 cm TELESCOPE FOR THE RUSSIAN-CUBAN OPTICAL TELESCOPE**
[UN NUEVO TELESCOPIO DE 50 CM PARA LA RED RUSA-CUBANA DE TELESCOPIOS]
M. A. IBRAHIMOV, M. R. RODRÍGUEZ-URATSUKA, Z. B. BARCENA-FONSECA, M. A. NALIVKIN, S. A. NAROENKOV, A. S. SHUGAROV, A. ALONSO-DÍAZ, O. PONS-RODRÍGUEZ, G. VEITIA

- 108 NUESTRA FÍSICA EN NOTICIAS**

OBITUARIOS

112 DANIEL STOLIK (28 MAYO 1940 – 14 SEPTIEMBRE 2023)

C. RODRÍGUEZ-CASTELLANOS

114 JOSÉ ENRIQUE NIETO-SÁNCHEZ (25 JULIO 1933 – 9 ENERO 2023)

J. E. HERNÁNDEZ-RUIZ

115 ANGELO BARACCA (25 JUNIO 1939 – 25 JULIO 2023)

C. RODRÍGUEZ-CASTELLANOS

EL MAESTRO MANUEL F. GRAN, EN EL CENTENARIO DE SU INCORPORACIÓN AL CLAUSTRO UNIVERSITARIO

PROFESSOR MANUEL F. GRAN, A HUNDRED YEARS SINCE HIS INCORPORATION TO THE UNIVERSITY STAFF

JOSÉ ALTSHULER

Sociedad Cubana de Historia de la Ciencia y la Tecnología

En el contexto de lo que se ha denominado "la primera gran pelea por la Reforma Universitaria" del año 1923, liderada por el histórico dirigente estudiantil Julio Antonio Mella, tuvo lugar un suceso que marcó el comienzo de la primera transformación profunda de la enseñanza de la física en Cuba desde los tiempos del padre Varela, en los primeros decenios del siglo XIX.

Ocurrió hace un siglo, cuando el claustro de la Facultad de Letras y Ciencias de la Universidad de La Habana aprobó por unanimidad, el 8 de marzo de 1923, nombrar Profesor Auxiliar Interino de la Cátedra de Física (con carácter honorario), al Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas, Ingeniero Civil y Arquitecto, Manuel Francisco Gran, quien, según el proponente de la moción, era "una persona muy grata a la Federación de Estudiantes."



Figura 1. Manuel F. Gran Guilledo (1893-1962)

El origen de aquella decisión fue la rotunda negativa de los estudiantes de Ciencias de la Universidad de La Habana a continuar recibiendo clases de una denominada Física

Superior, tan elementales como deficientes, que impartía un profesor inepto. Desde marzo de aquel año hasta su jubilación, el 1 de enero de 1962, Manuel Gran tuvo la alta responsabilidad de ejercer la docencia de los cursos básicos de física que debían tomar los alumnos de Ingeniería, Ciencias Físico-Matemáticas y Ciencias Físico-Químicas de la Universidad de La Habana.

Cuando iniciábamos nuestros trabajos, en el curso de 1923 a 1924 -escribió nuestro biografiado en 1942-, nos vimos precisados a emprender la solución de tres problemas: creación de un curso de Física Superior que mereciese este nombre; organización del laboratorio para que llenase este fin de la mejor manera, y organización de un curso de manipulaciones consonante."

Gracias al esfuerzo denodado del nuevo profesor, que como ayuda en su labor solo pudo contar con la colaboración de algún estudiante, tras varios años de trabajo en que rara era la noche en que no se salía del laboratorio a las tres de la madrugada", se logró llevar a un nivel decoroso el estado de los laboratorios y el número y la calidad de las prácticas a realizar por los alumnos. Hacia 1929 se había consumado en lo esencial la transformación de la enseñanza de Física Superior, de forma tal que "se desarrollaba normalmente, con cambios poco profundos exigidos por el medio y las circunstancias", según el propio Gran, quien, por supuesto, había tenido que proyectar y preparar los cursos correspondientes "sin ayuda ni consejo, pues no había a quién recurrir en las cuestiones de detalle científico". Estos cursos se mantuvieron sin grandes cambios durante más de treinta años, hasta la implantación de la Reforma Universitaria a comienzos de la década de 1960.

Considerado la figura más prestigiosa de la física en el país durante la República neocolonial, Gran no solo fue un verdadero sabio en su materia, puesto que una vasta cultura científica y humanística y un agudo sentido crítico invadían sus explicaciones de clase, a lo cual ha de añadirse que en sus disertaciones y escritos empleó un estilo muy propio, frecuentemente provocativo pero siempre preciso, elegante e inspirado. En términos generales, puede decirse que no se limitaba Gran a echar a un lado las malas interpretaciones consagradas por el uso y la reiteración, sino que aprovechaba cualquier oportunidad que se presentara para fustigarlas implacablemente en el aula y la página impresa, tanto en sus clases como en su notable obra para la enseñanza secundaria de la época titulada Elementos de Física, publicada

en sucesivas ediciones entre 1939 y 1957. En esta se propuso, según sus propias palabras, 'plantear las cuestiones de manera que el alumno no se vea precisado a borrarlas mañana, para sustituirlas por las verdadera que el [autor] suplantó por otras elaboradas a placer en su imaginación'.

En 1948, al proponérsele -un tanto simbólicamente- como candidato a senador bajo el lema "Vergüenza contra dinero", él, que para ganarse el pan había tenido que trabajar en su adolescencia como obrero y dar clases de primaria y secundaria durante años, simultáneamente con el desempeño de la cátedra universitaria, y que vivía modestamente en el barrio habanero de Santos Suárez, declaró: "Tengo todo lo que he querido tener en la vida y no quiero más, como no sea ver a mi país un poco encauzado siquiera, y publicar una serie de libros en que estoy trabajando."

Opuesto a la tiranía batistiana desde el primer momento (1952), mantuvo a lo largo de su vida una posición liberal

progresista. El único cargo público que desempeñó fue el de embajador de Cuba en Francia (en 1959-60) por nombramiento del Gobierno Revolucionario. Falleció en La Habana el 3 de abril de 1962. Había nacido en pueblo marianense de El Cano, el 28 de octubre de 1893.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Altshuler, (1993): Manuel Gran y su manera de explicar la física. Manuel F. Gran / Apuntes biográficos. Editorial Academia, La Habana, pp.7-33.
- [2] J. Altshuler, (1995): El maestro Manuel Gran, en el recuerdo. Educación, No. 86/SEP-DIC 1995 –Segunda época. Ed. Pueblo y Educación, La Habana, pp.33-37.
- [3] L.F. Leroy y Gálvez, (1979): Profesores de física de la Universidad de La Habana desde su secularización en 1842 hasta Manuel F. Gran. Editorial Academia, La Habana, pp.24-33.

CITY PATH TOMOGRAPHY: RECONSTRUCTING SQUARE ROAD NETWORK FROM ARTIFICIAL USERS MOBILE PHONE DATA

TOMOGRAFÍA DE TRAYECTORIAS: RECONSTRUYENDO UNA RED CUADRADA DE CALLES A PARTIR DE USUARIOS ARTIFICIALES DE TELEFONÍA

A. RODRÍGUEZ AND A. LAGE-CASTELLANOS[†]

Center for Complex Systems, Faculty of Physics, University of Havana, ale.lage@gmail.com[†]

[†] corresponding author

Recibido 30/10/2023; Aceptado 14/02/2023

Population mobility can be studied readily and cheaply using cellphone data, since people's mobility can be approximately mapped into tower-mobile registries. We model people moving in a grid-like city, where edges of the grid are weighted and paths are chosen according to overall weights between origin and destination. Cellphone users leave sparse signals in random nodes of the grid as they move by, mimicking the type of data collected from the tower-cellphone interactions. From this noisy data we seek to build a model of the city, *i.e.* to predict probabilities of paths from origin to destination. We focus on the simplest case where users move along shortest paths (no loops, no going backwards). In this simplified setting, we are able to infer the underlying weights of the edges (akin to road transitivity) with an inverse statistical mechanic model.

La movilidad de la población se puede estudiar de manera fácil y económica utilizando datos de la telefonía celular, mapeando la movilidad de las personas en registros de torres móviles. Se modela el movimiento de las personas en una ciudad en forma de red cuadrada, donde los nodos y sus conexiones se ponderan y las rutas se eligen de acuerdo con los pesos generales entre el origen y el destino. Los usuarios dejan señales dispersas en nodos de la red a medida que avanzan, imitando el tipo de datos recopilados de las interacciones entre la torre y el teléfono celular. Utilizando estos datos buscamos construir un modelo de la ciudad, es decir, predecir probabilidades de caminos desde el origen hasta el destino. Se estudia el caso donde los usuarios se mueven a lo largo de los caminos más cortos (sin lazos, sin retroceder). En esta configuración simplificada, podemos inferir los pesos del modelo (similar a la transitabilidad de la carretera) con un modelo físico estadístico inverso.

PACS: Statistical physics and nonlinear dynamics (física estadística y sistemas no lineales), 05.10.-a; computer modeling and simulation (modelado computacional y simulaciones), 07.05.Tp; Telecommunications (telecomunicaciones), 84.40.Ua.

I. INTRODUCTION

Population size, concentration and mobility have been constantly growing during most of human history, and especially so in the last 200 years. These changes have impacted geography, demography and social dynamics in all too many ways, sometimes at a pace faster than the adaptability of the systems. Understanding human mobility patterns at city, country, and international scales is useful for decision-making related with urban planning, transport and dealing with infectious diseases [1].

Many different sources have been used to obtain information about the population mobility, a considerable part of those are expensive or slow. It is possible to find human mobility investigations carried out with the information of a national census [2] or bank notes [3]. Also GPS devices have been used [4]. GPS data provides accurate measures of position in outdoors with the drawback of less accuracy because of weak signals in indoor scenarios and the tendency of users to turn off the service when isn't needed due to battery consumption.

The use of telecommunication data allows researchers to perform these studies in a faster and cheaper way [6]. Large telecommunications companies, private applications, and network providers collect and store enormous quantities of data on users of their products and services [6]. A massive

number of phone calls can be processed and arranged in records that might include information of the user (usually anonymized), the position of the device or at least the radio base to what the user's device is connected and a time stamp [7].

The use of telecommunication data opens a new era in the human mobility studies [1]. This kind of data is now available to researchers in many countries, even in developing countries [8]. Due to its vast amount it is possible to improve the results in comparison with traditional sources as surveys and census and start new trends in human mobility fields.

In this paper we formalize the problem of understanding city connections (road usability or transitivity) from analyzing noisy and sparse cellphone data in an artificial city. We model the city as a weighted 2D grid describing the connections among parts of the city. Some papers already have taken graph based approaches. For instance in [10, 11] a transportation network graph is presented to calculate origin destination matrices using Markov models. Instead, we map our reconstruction problem, that we call **city path tomography**, as an inverse statistical mechanics model. We develop a procedure to infer weights for edges of the city from the sparse cellphone data using a gradient descent algorithm. The main limitation of the proposal is related to the capability of fast computation of the partition functions that we are able

to solve for 2D-grids, but remain a complicated issue for more heteromorphic cities.

Origin-destination (O-D) matrices are the standard information taken from mobility studies. Notwithstanding its relevance, it provides no clue on how people move between the given O-D points. City path tomography is somehow a complementary approach. It aims to produce a probabilistic model of the usage of different paths between given O-D points in a city.

The paper is organized as follows: section PATH TOMOGRAPHY describe the city and its connection to the artificial paths of users. In section MAX-LIKELIHOOD we discuss an efficient procedure to infer the weights of the city based on the incomplete path data. In section RESULTS we apply this method to some artificial datasets and discuss its performance. Finally CONCLUSIONS are drawn.

II. PATH TOMOGRAPHY

We consider a simplified version of city as a squared lattice graph $C = (V, E, W)$, a 2D grid of weighted nodes and/or edges. Let L be the side of the square city, we label the nodes in the city as $V = 1, \dots, L^2$, and define paths, from start h_0 to end h_n as a sequence of contiguous edges in the graph:

$$\mathcal{P} = \{h_0, h_1, \dots, h_{n-1}, h_n\} \text{ where } \forall_i (h_i, h_{i+1}) \in E(C). \quad (1)$$

Furthermore, we will only consider paths that take the traveler closer to destination at every step, for example if h_n is above/(to the right) of node h_0 , then h_{i+1} is always above or to the right of node h_i in the sequence. This also means that if h_0 and h_n are p steps distant in the y-axis and q steps in the x-axis, then the total number of nodes visited in every non returning path is $n = p + q$, and the amount of such paths is equal to:

$$N(h_0, h_n) = \binom{n}{p} \quad (2)$$

In figure 1 is shown an example of this kind of 2D grid using $L = 5$.

In order to build a statistical model for the trajectories of users in the city, we define the Hamiltonian (cost function) as the total weight of a path as follows:

$$H(\mathcal{P}) = \sum_{i \in \mathcal{P} \setminus \{h_0 \cup h_n\}} a_i + \sum_{(ij) \in \mathcal{P}} \omega_{ij} \quad (3)$$

where the first sum runs over nodes weights while the second over the links weights.

Be noticed that the first and last node weight wasn't added in the Hamiltonian. The probability of a given path between points h and m in the grid is therefore given by

$$P(\mathcal{P}) = \frac{1}{Z_{hm}} \exp(-\beta C(\mathcal{P})) \quad (4)$$

where the normalization Z_{hm} ensures that, constrained to the same origin h and destination m , the set of all non returning paths $\mathcal{P}(h, m)$ has probability 1:

$$\sum_{\mathcal{P} \in \mathcal{P}(h, m)} P(\mathcal{P}) = 1 \Rightarrow Z_{hm} = \sum_{\mathcal{P} \in \mathcal{P}(h, m)} \exp(-\beta C(\mathcal{P})). \quad (5)$$

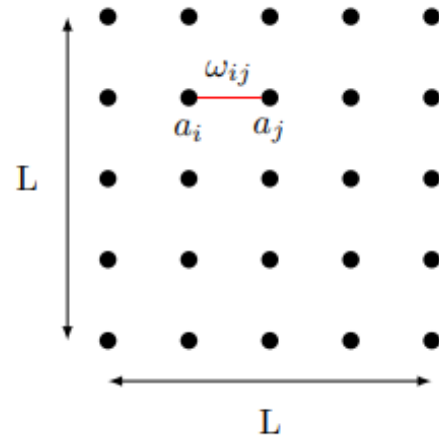


Figure 1. Example of 2D city grid, with nodes and links weighted.

II.1. Telecom data

For the sake of our model, assume that towers exist at every node of our grid-like city, and that travelers with a mobile phone can leave registries of phone-tower communication in the nodes along their path. However, registry data from these paths is usually incomplete, and they usually consist on only but a few of the nodes visited. For instance, paths could look like

$$\mathcal{D} = \begin{cases} [95, 46, 48, 14, 42, 128, 116, 117] \\ [14, 61, 68] \\ [95, 128, 112, 117] \\ \dots \end{cases}$$

where each row correspond to a single user, and numbers correspond to tower ID's. As you can see from the first and third lines, the amount of signals left from a trip could vary widely, even between same origin and destination. We break down every multi-tower path to its minimum informative value, which is a set of triplets

$$\left. \begin{array}{l} [95, 46, 117] \\ [95, 48, 117] \\ [95, 14, 117] \\ [95, 42, 117] \\ [95, 128, 117] \\ [95, 116, 117] \end{array} \right\} 1/6$$

$$[14, 61, 68] \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} [95, 46, 117] \\ [95, 48, 117] \\ [95, 14, 117] \\ [95, 42, 117] \\ [95, 128, 117] \\ [95, 116, 117] \end{array}} \right\} 1$$

$$\left. \begin{array}{l} [95, 128, 117] \\ [95, 112, 117] \end{array} \right\} 1/2$$

When a given path has more than one (say k) intermediate points, each of its triplets is weighted as $1/k$ to avoid an statistical bias on the path due to its length.

We consider the travelers decisions around the city to be given by the model (4), and we assume that given a path as (1), every visited node leaves a signal in the mobile-phone records with a probability $\eta < 1$.

The path tomography problem (PTP) that we are interested in is the following:

Definition [PTP]: given a large set of incomplete paths \mathcal{D} of users in the city, infer the set of weights in W that define model (4).

Although we can consider node-weighted or edge-weighted cities, or even both, it can be shown that the probabilistic model given by (4) is invariant to local transformations of the type

$$a_i \rightarrow a_i + \Delta \quad \forall_{j \in \partial j} \omega_{ij} \rightarrow \omega_{ij} - \frac{\Delta}{2}. \quad (6)$$

This implies that a model with edge-weights is equivalent to the more general model with both edge and node weights, since every node weight can be freely set to zero by taking $\Delta_i = -a_i$. However, we will keep the model in full generality.

We will proceed with the node-weight graph first, and extensions to edge-weighted graphs is immediate. Given that someone is known to have moved from (non-adjacent) nodes i to j , the probability that it has passed through node k is given by:

$$P(k|i, j) = \frac{Z_{ik} e^{-\beta a_k} Z_{kj}}{Z_{ij}}. \quad (7)$$

III. MAX-LIKELIHOOD INFERENCE

The model (4) considers probabilities of different paths between a given origin O and destination, but does not take into account (nor care) the frequency of each $O - D$ pairs. Therefore we build a likelihood not in terms of full probabilities $p(i, k, j) = P(k|i, j)P(O = i, D = j)$, but rather in terms of the conditionals (7):

$$L(\mathcal{D}) = \sum_{(ikj) \in \mathcal{D}} \log P(k|i, j) \quad (8)$$

$$= \sum_{(ikj) \in \mathcal{D}} -\beta a_k + \log Z_{ik} + \log Z_{kj} - \log Z_{ij} \quad (9)$$

If n_{ij}^O , n_{ij}^D and n_{ij}^m are the number of elements in \mathcal{D} of the type $(i, j, *)$, $(*, i, j)$ and $(i, *, j)$ respectively, then we define the $n_{ij} = n_{ij}^O + n_{ij}^D - n_{ij}^m$ and

$$L(\mathcal{D}) = \sum_{(ij)} n_{ij} \log Z_{ij} - \beta \sum_k m_k a_k \quad (10)$$

where all information from the data is subsumed in the coefficients n_{ij} . Maximization of the log-likelihood is achieved when its derivatives with respect to the cost function parameters is zero.

Considering that weight a_k appears in the exponential of paths that contain k as an intermediate point, we have:

$$\frac{1}{\beta} \frac{\partial L(\mathcal{D})}{\partial a_k} = - \sum_{i-j \ni k} n_{ij} \left(\frac{1}{Z_{ij}} Z_{ik} e^{-\beta a_k} Z_{kj} \right) - m_k \quad (11)$$

The gradient respect to the edges weights $w_{kk'j}$ is:

$$\frac{1}{\beta} \frac{\partial L(\mathcal{D})}{\partial w_{kk'}} = - \sum_{i-j \ni (k, k')} n_{ij} \times \left(\frac{1}{Z_{ij}} Z_{ik} e^{-\beta(a_k + w_{kk'} + a_{k'})} Z_{k'j} \right) \quad (12)$$

A fast computation of this gradient, in order to implement gradient descent method, requires a clever way to evaluate all the Z_{ij} functions for every pair of possible origin and destination in the city.

III.1. Gradient fast computation

As explained in the previous section from a data set and a graph we aim to find the weights that maximize the log-likelihood expressed in (8). Then, the log-likelihood gradient should be computed respect to each type of weight used, let say nodes (11) and links (12).

The first step from the gradient computation is to extract the information from the data. This information is condensed in the values of n_{ij} and m_i as explained in the text before (10).

The computation of the gradient in terms of a node weight in (11) (link weight in (12)), requires a sum over all $O - D$ pairs that include that node (link) as a passing point of at least one non returning path from O to D . Considering that the city has n nodes, the number of $O - D$ pairs grows as n^2 , and those sums are not extremely large. The list of $O - D$'s corresponding to every parameter to be extremized, is computed only once at the beginning.

Starting from a random initialization of the weights we apply a gradient descent as is described in algorithm 1.

In the algorithm, these quantities are computed at initialization time before the epoch loop and do not change over the gradient steps:

- $\forall_{i,j} n_{ij}$ and $\forall_k m_k$ coefficients computed from data.
- possible_nodes_OD: The set of possibles origin-destination for paths including each node.
- possible_links_OD: The set of possibles origin-destination for paths including each link.
- Initial values of the weights ω^0 and/or a^0 , chosen randomly.

Algorithm 1. Gradient descent for city path tomography

Input: n, m, ω^0, a^0

Output: ω, a

foreach epoch **do**

/* Repeat until gradient convergence */

$Z = \text{Calc_Part_Func}(\omega^i, a^i)$ /* i : epoch index */

for k in nodes **do**

temp=0

for $i-j$ in possible_nodes_OD[k] **do**

temp += $\frac{n_{ij}}{Z_{ij}} Z_{ik} e^{-\beta a_k} Z_{kj}$ /* Summation term in equation (11) */

end

gradient_a[k] = $-1 \times \text{temp} - m[k]$

end

/* At this point log-likelihood gradient respect to a was computed */

for (k, k') in links **do**

temp=0

for $i-j$ in possible_links_OD(k, k') **do**

temp += $\frac{n_{ij}}{Z_{ij}} Z_{ik} e^{-\beta(a_k + \omega_{kk'} + a_{k'})} Z_{k'j}$ /* Summation term in equation (12) */

end

gradient_omega[(k, k')] = temp

end

/* At this point log-likelihood gradient respect to ω was computed */

Update weights: $a^{i+1} = a^i + \text{learning_rate} \times \text{gradient_a}$

$\omega^{i+1} = \omega^i + \text{learning_rate} \times \text{gradient_omega}$

/* Alternatively, an adaptive gradient descent algorithm can be used to compute a_{i+1} and ω_{i+1} */

end

However, changing the weights a and ω do affect the partition functions used in the computation, and it is carried by the function $\text{Calc_Part_Func}(\omega^i, a^i)$ at the beginning every loop of the gradient descent algorithm. This procedure is described in algorithm 2.

Updating the partition functions is the time consuming step in this algorithm. Generally speaking, partition functions are hard, since they typically imply sums over a combinatorial number of states in a model. However, the regular grid-like geometry of the artificial city used and the assumption that only non-returning paths are considered, allow for an efficient computation of the partition function. In particular, the partition function for an origin-destination pair $i - j$ can be split into the partition functions of a decomposition of the paths, $i - k$ and $k - j$ for example. This leads to:

$$Z_{ij} = \sum_{k \in S} Z_{ik} \times e^{-\beta a_k} \times Z_{kj} \quad (13)$$

in this equation S is a set of points with the same city block distance to i and the same city block distance to j . Fig. 2 shows a possible selection of k values to create a set S and the areas of the paths which each partition function in the summation represent.

This results brings two interesting facts. Considering the set S with points only one step away from j and a fixed number of steps away for i , any value Z_{ij} can be calculated using:

$$Z_{ij} = Z_{ij'} \times e^{-\beta(a_{j'} + \omega_{j'i})} + Z_{ij''} \times e^{-\beta(a_{j''} + \omega_{j''i})} \quad (14)$$

where j' and j'' are the nodes closer to j in the directions to approach to i . With this in mind, recursivity can be used. Note that in (14) $Z_{ij'}$ and $Z_{ij''}$ are unknown but can be computed with the same idea. Using this recursive strategy implies that due to the calculation of Z_{ij} are computed partition functions with origin in i and destination each time closer to i . Then, the calculation of Z_{ij} leads to the computation of every $Z_{ij'}$, where γ is every node in the rectangle delimited by i and j in the city grid.

Algorithm 2. Procedure to calculate partition functions

procedure $\text{Calc_Part_Func}(\omega^i, a^i)$

Z initialization

for i in $V \setminus \{(L-1) \times L + 1\} \cup L^2$ **do**

$Z_{i[(L-1) \times L + 1]} = \text{Calc_Z}_{ij}(i, (L-1) \times L + 1, a, \omega)$

$Z_{iL^2} = \text{Calc_Z}_{ij}(i, L^2, a, \omega)$

end

$Z_{[(L-1) \times L + 1]L^2} = \text{Calc_Z}_{ij}((L-1) \times L + 1, L^2, a, \omega)$

/* and $\text{Calc_Z}_{ij}(i, j, a, \omega)$ is described next */

procedure $\text{Calc_Z}_{ij}(i, j, a, \omega)$

if Z_{ij} is already in Z **then**

return Z_{ij}

else

$Z_{ji} = 1$

return Z_{ij}

$up, down, left, right = \text{calculate_direction}(i, j)$ /* Each value is true if i is in that direction respect j */

$Z_{ij} = up \times e^{-\beta(a_{j\uparrow} + \omega_{j\uparrow i})} \times \text{Calc_Z}_{ij}(i, j_{\uparrow}, a, \omega)$

+ $down \times e^{-\beta(a_{j\downarrow} + \omega_{j\downarrow i})} \times \text{Calc_Z}_{ij}(i, j_{\downarrow}, a, \omega)$

+ $left \times e^{-\beta(a_{j\leftarrow} + \omega_{j\leftarrow i})} \times \text{Calc_Z}_{ij}(i, j_{\leftarrow}, a, \omega)$

+ $right \times e^{-\beta(a_{j\rightarrow} + \omega_{j\rightarrow i})} \times \text{Calc_Z}_{ij}(i, j_{\rightarrow}, a, \omega)$

$Z_{ji} = Z_{ij}$

return Z_{ij}

/* Notice that Z is a data structure and Z_{ij} are values stored inside Z using the adequate indexes */

end

This approach is more efficient than obtaining every partition function following equation (5). Instead of adding over every possible path the already calculated partition functions are used to avoid redundant computations. This reduction in calculations becomes more significant as city side grows. For instance, if a partition function is calculated for points distant $q = K$ steps horizontally and $p = K$ steps vertically, the brute force computation results in $\sim 2^{2K}$ from an Stirling's approximation of (2). Exploiting the our recursive procedure

this results in $\sim K^2$ operations.

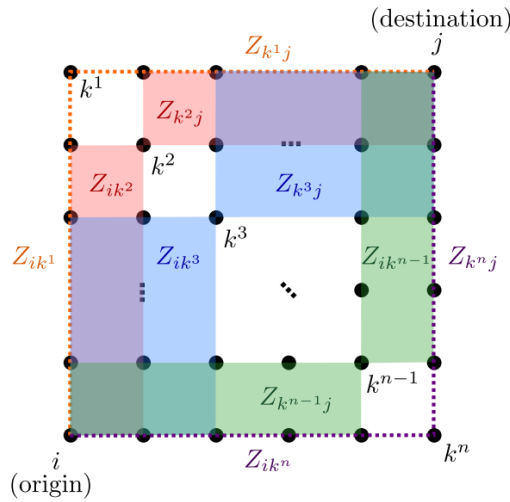


Figure 2. A possible selection of S and description of partition functions involved.

The final step in the gradient descent is the updating of the weights in the direction of the gradient in order to maximize the log likelihood. This can be done with a fixed learning rate like the stochastic learning rate or with an adaptative step, like Adam gradient descent algorithm or similar [12]. The gradient steps are carried up to when a given tolerance is achieved or a maximum number of loops are reached. Typically the tolerance is fixed as a small value for the norm of the gradient.

IV. RESULTS

We now show some experiments to test the precision of our inference methodology with synthetic data from an artificial city. We will consider a grid-like city of $N = L \times L$ nodes ($L = 12$) and a link weights extracted from a scaled Gaussian distribution

$$w_{i,j} = \beta \omega_{i,j}^0 \quad \text{where } \omega_{i,j}^0 \sim N(\mu = 0, \sigma^2 = 1).$$

We do not consider node weights, since they are equivalent to a gauge transformation of the links.

In artificial city it is possible to take several paths between each origin and destination. The probability of each path can be computed using (4) given a set of weights. From this artificial city we generate a data set of triplets \mathcal{D} . Each triplets is composed by an origin, an intermediate point and destination. The length of the set, $|\mathcal{D}|$, corresponds with the total of triplets. This set of triplets are similar to the data set of sparse trajectories of mobile phone registers after be split.

At this point, we have a set of paths for each origin destination pair and the probability to take each path. The probability to use k in a $i - j$ path is easily obtainable summing over every $i - j$ path that includes k . Then, we can pick origin-destination pairs and sample the data according the distribution created.

There are two main parameters to consider in order to perform a proper evaluation. The first is $|\mathcal{D}|$, the length of the set. If

our procedure is correct, the quality of our inference should grow towards perfection when the number of samples in \mathcal{D} is large. The second parameter is β , this value represents the inverse of the temperature, taking a direct effect over the shape of the distribution of the paths probabilities. For $\beta = 0$ (infinite temperature) every path has equal probability with independence of the values of ω and a . With an increase of β (temperature decrease) it is expected that the path with the lower Hamiltonian (3) becomes more probable relative to the others with same origin and destination.

Firstly, we explore the influence of $|\mathcal{D}|$ over mean square error of the probabilities generated with the inferred weights. For that, we set $\beta = 0$ and perform the procedure presented in the previous section to obtain a set of weights from a random ones.

Once the new weights are inferred we compute:

$$mse = \frac{1}{N} \sum_{(ikj) \in \mathcal{D}} \sqrt{(p_{r(ikj)})^2 - (p_{i(ikj)})^2} \quad (15)$$

where N is the total of ikj in the graphs and $p_{r(ikj)}$ and $p_{i(ikj)}$ stands for the real and inferred probability for the trio ikj , respectively.

Figure 3 shows the results of the logarithm of mean square error with the grow of $|\mathcal{D}|$. As expected the error decreases with an increases of length \mathcal{D} .

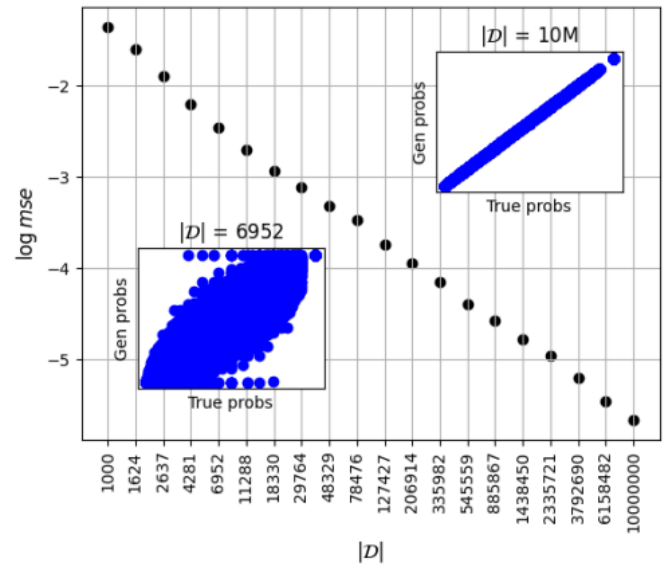


Figure 3. Log mean square error for several length of \mathcal{D} , in an homogeneous city, $\beta = 0$. True probabilities vs model generated probabilities for particular values of \mathcal{D} in inner plots.

In the inner plots of Fig. 3 it is shown the behavior of $p_{r(ikj)}$ against $p_{i(ikj)}$ for every ikj . Notice that with a bigger number of trios the distribution of dots became similar to the curve $x = y$, as expected. This is shown with more detail in Fig. 4, when also is considered the case with length of \mathcal{D} infinite. Notice, that to assume this case is needed to set n and m with the value of its convergence with the increase of $|\mathcal{D}|$.

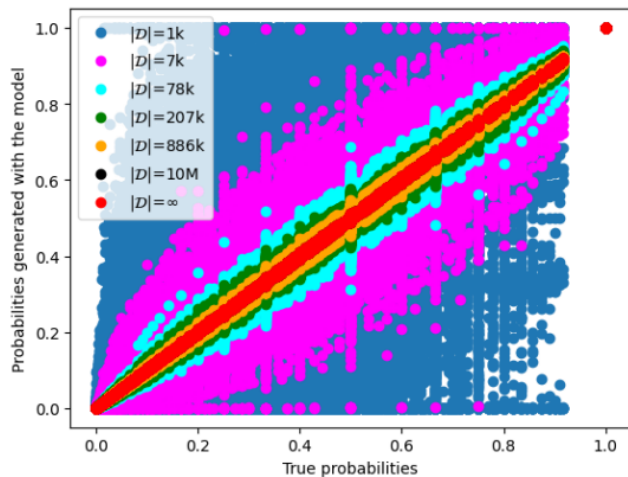


Figure 4. True probabilities against probabilities generated using model's parameters.

The analysis done in Fig. 3 can be extended to other values of β to prove that the same behavior is obtained in a non-homogeneous city. This is shown in Fig. 5, where using the same set of discrete $|D|$ the values of the logarithm of mse are plotted from different values of β . Particularly, $\beta = 0, \beta = 1, \beta = 2, \beta = 4$ and $\beta = 8$.

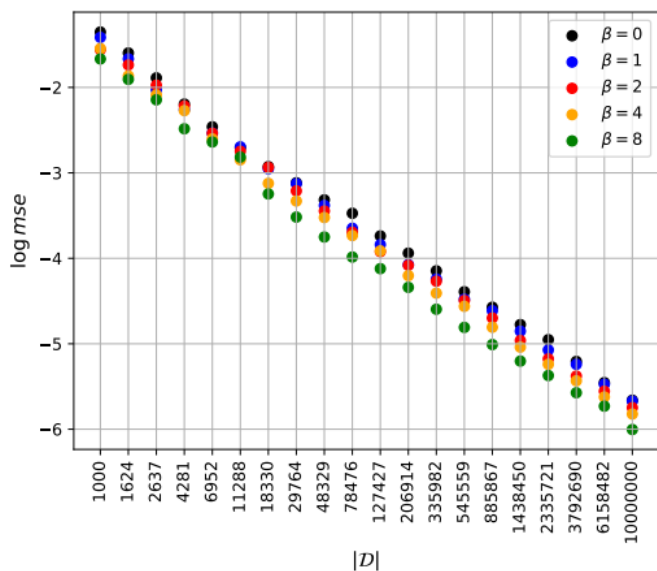


Figure 5. Mean square error varying length of \mathcal{D} , using different values of β .

V. CONCLUSIONS

We introduce the City Path Tomography problem and show that it can be solved in a very simplified toy model of phone

users moving in a grid-like city. The likelihood of the observed data is maximized in an efficient way, thanks, mostly to the simplicity of the city and the assumption of users moving along non returning paths. As expected, the inference is more accurate as the amount of data grows.

The success of this methodology acts as a proof of concept. It is a first step to attempt the more challenging situation of realistic cities and travelers. The challenge in that case is two fold: first describe a model that is consistent with real human behavior in a city, and second, solve it (probably resorting to approximate stat mech methods).

Acknowledgments The research presented in this publication received funds from the Office of International Funds and Projects Management under the code PN223LH006-007.

REFERENCES

- [1] F. Asgari, V. Gauthier, and M. Becker, arXiv: Social and Information Networks (2013).
- [2] R. Becker, R. Cáceres, K. Hanson, S. Isaacman, J. M. Loh, M. Martonosi, J. Rowland, S. Urbanek, A. Vars-havsky, and C. Volinsky, *Comm. ACM* **56**, 74 (2013).
- [3] D. Brockmann, L. Hufnagel, and T. Geisel, *Nature* **439**, 462 (2006).
- [4] H. Gong, C. Chen, E. Bialostozky, and C. T. Lawson, *Environ. Urban Syst.* **36**, 131 (2012).
- [5] H. Huang, Y. Chen, and R. Weibel, *Transp. Res. Pt. C-Emerg. Technol.* **101**, 297 (2019).
- [6] J. L. Toole, S. Colak, B. Sturt, L. P. Alexander, A. Evsukoff, and M. C. González, *Transp. Res. Pt. C-Emerg. Technol.* **58**, 162 (2015).
- [7] C. Chen J. Ma, Y. Susilo, Y. Liu, and M. Wang, *Transp. Res. Pt. C-Emerg. Technol.* **68**, 285 (2016).
- [8] F. Calabrese, L. Ferrari, and V. D. Blondel, *ACM Comput. Surv.* **47**, 25 (2014).
- [9] K. G. Shin, X. Ju, Z. Chen, and X. Hu, *IEEE Wirel. Commun.* **19**, 30 (2012).
- [10] A. Tesselkin and V. Khabarov, *Procedia Eng.* **178**, 107 (2017).
- [11] M. Pourmoradnasseri, K. Khoshkhah, A. Lind, and A. Hadachi, 2019 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networkin and Communications (WiMob), 1 (2019).
- [12] S. Ruder, An overview of gradient descent optimization algorithms, arXiv preprint arXiv:1609.04747 (2016).

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.



MALUS' LAW REVISITED

LA LEY DE MALUS, REVISITADA

VLADIMIR IVCHENKO

Department of Natural Sciences Training, Kherson State Maritime Academy, Kherson 73000, Ukraine reterty@gmail.com[†]

[†] corresponding author

Recibido 20/09/2023; Aceptado 20/11/2023

Malus's law is generalized for elliptical and partially polarized light. A simple way to determine the degree of polarization of a polarizer was also proposed. Se generaliza la ley de Malus para luz elíptica y parcialmente polarizada. También se propone una sencilla vía para determinar el grado de polarización de un polarizador.

PACS: Wave optics (óptica ondulatoria), 42.25.-p; Polarization in wave optics (polarización en óptica ondulatoria), 42.25.Ja; polarizers, optical (polarizadores ópticos), 42.79.Ci; general physics (physics education) (física general (educación en física)), 01.55.+b.

I. INTRODUCTION

The study of polarized electromagnetic radiation is of great importance in many areas of science. This analysis is based on the discovered in 1809 Malus' law [1]. Malus' law is widely used in making polaroids that are applied to control the intensity of light, as in sunglasses, window panes, and sometimes photographic and 3-d movie cameras.

There are many many articles in physics education journals devoted to the description of the experimental verification of the Malus' law in the physics classroom. For example, in references [2] and [3] a simple setup using a cell phone is proposed to quantify Malus' law inexpensively.

It should be noted that the derivation of this law is based on some model assumptions, namely, it is assumed that the light after passing through the polarizer is strictly linearly polarized, and in addition, the analyzer also produces only polarized light at the output.

In the present work, we generalize Malus' law to cases where these conditions are not met. The issues outlined in this article will be useful for undergraduates studying the basics of wave optics.

II. MALUS' LAW FOR THE ELLIPTICALLY POLARIZED LIGHT

In the most general case, the elliptically polarized light consists of two mutually perpendicular waves of unequal amplitude which differ in phase by δ ($0 \leq \delta \leq 2\pi$). The components of the electric field \vec{E} along these transverse directions are [4]:

$$E_x = \frac{E_0}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}} \cos \omega t, \tag{1}$$

$$E_y = \frac{E_0 \varepsilon}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}} \cos(\omega t - \delta), \tag{2}$$

where E_0 is the amplitude value of \vec{E} ; ε is the ellipticity of the polarization ellipse, that is, the ratio between the lengths

of its minor and major axes; ω is the angular frequency. The irradiance of this light (that is the radiant flux received by a surface per unit area) is

$$I_0 = n\varepsilon_0 c \langle E_x^2 + E_y^2 \rangle \tag{3}$$

where n is the refractive index of the medium of propagation; ε_0 is the vacuum permittivity; c is the speed of light in vacuum. The angular brackets in equation (3) mean the time-averaging. For example,

$$\langle E_x^2 \rangle = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} E_x^2(t') dt' = \frac{E_0^2}{2(1 + \varepsilon^2)}, \tag{4}$$

where the integration is taken over an interval τ . The result (4) is valid only we assume that this interval is much greater than the period of the electromagnetic wave $T = 2\pi/\omega \sim 10^{-15}$ s. This is mandatory, to guarantee that the calculated irradiance be comparable to the measured quantity with a suitable sensor that integrates and averages the energy per unit area (see, for instance, Ref. [5]). Therefore,

$$I_0 = \frac{n\varepsilon_0 c E_0^2}{2} \tag{5}$$

Let the angle between the transmission axis of the analyzer and the Ox axis be equal to θ . Then, upon exiting the analyzer, the resulting linear oscillation is:

$$E_\xi = E_x \cos \theta + E_y \sin \theta. \tag{6}$$

Then, the output irradiance of the light will be:

$$I = n\varepsilon_0 c \langle E_\xi^2 \rangle = \frac{n\varepsilon_0 c E_0^2}{2(1 + \varepsilon^2)} (\cos^2 \theta + \varepsilon^2 \sin^2 \theta + \varepsilon \sin 2\theta \cos \delta) \tag{7}$$

Taking into account equation (5), we finally obtain:

$$I = \frac{I_0}{1 + \varepsilon^2} (\cos^2 \theta + \varepsilon^2 \sin^2 \theta + \varepsilon \sin 2\theta \cos \delta) \tag{8}$$

The function $I(\theta)$ is a periodic function with the period equal to π . The distance between the adjacent maxima and minima

is exactly equal to $\pi/2$. If $\delta = \pi/2$, then maxima and minima of I are reached at $\theta = 2k\pi$ and $\theta = (2k + 1)\pi/2$, respectively. In general, I_{\min} does not vanish (Fig. 1).

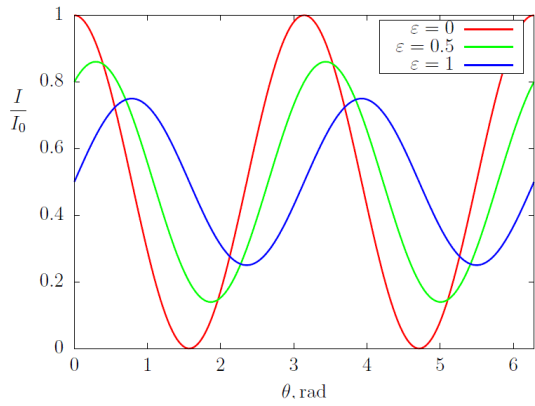


Figure 1. Dependence $I(\theta)$ at $\delta = \pi/3$.

The vanishing is possible only for linearly polarized wave, i.e. at $\varepsilon = 0$ or $\delta = k\pi$ ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$). Under the same conditions, $I_{\max} = I_0$ (in all other cases $I_{\max} < I_0$, see Fig. 1). It is interesting that in all cases the averaged value of I around which the light intensity oscillates is equal to $I_0/2$.

As ε increases from 0 to 1, the extrema shift to the right on the θ -angle scale (Fig. 1). Herewith, the value of I_{\max} decreases, while the value of I_{\min} increases. For circularly polarized wave ($\varepsilon = 1, \delta = \pi/2$), we have $I = I_0/2$, that is the output irradiance does not depend on θ at all. Finally, at $\varepsilon = 0$ we deal with Malus's law in the standard form: $I = I_0 \cos^2 \theta$.

MALUS' LAW FOR PARTIALLY POLARIZED LIGHT

A real polarizer produces only partially polarized light with a degree of polarization slightly less than unity. Any partially polarized light can be statistically described as a superposition of a completely unpolarized component (natural light) and a completely polarized one. Below, we present a derivation of the generalized Malus' law for partially polarized light.

The degree of light polarization p ($0 \leq p \leq 1$) is the ratio of the irradiance of light polarized by the polarizer to the total light irradiance [6]:

$$p = \frac{I_p}{I_0} = \frac{I_p}{I_p + I_u}, \quad (9)$$

where I_u is the irradiance of the natural component of the light. Let such a partially polarized light passes through an analyzer completely identical in its optical properties to a polarizer (it means that the degree of polarization after passing the analyzer is the same as after the polarizer that created the partially polarized beam). Then the following equality takes place:

$$p = \frac{I_a}{I}, \quad (10)$$

where I_a is the irradiance of polarized light after passing through the analyzer; I is the total light irradiance after passing

through the analyzer. It is evidently that

$$I_a = I_p \cos^2 \theta + \frac{I_u}{2}, \quad (11)$$

where θ is the angle between the transmission axes of the polarizer and analyzer. Using equations (9)-(11), we finally obtain:

$$I = I_0 \left(p \cos^2 \theta + \frac{1-p}{2} \right) < I_0. \quad (12)$$

The equation (12) is very similar to the usual Malus' law with the only difference that function $I(\theta)$ turns out to be "compressed" by the factor of $1/p$ and shifted up by $I_0(1-p)/2$ (Fig. 2).

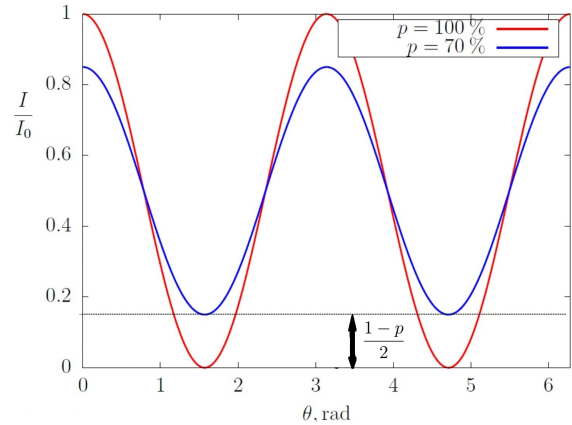


Figure 2. Dependence $I(\theta)$ for two different polaroids.

The averaged value of I around which the light intensity oscillates, is equal to $I_0/2$. The difference $I_{\max} - I_{\min}$ is $I_0 p$. This circumstance makes it easy to determine the degree of polarization of a polarizer by studying the experimental dependence $I(\theta)$.

III. CONCLUSIONS

The main contribution of this paper is to present the derivation and analysis of Malus' law for two important general cases which can be implemented in the learning process. To the author's knowledge, these derivations have not been reported before. The only attempt (known to us) to generalize Malus' law is the work by Damian [7]. Unfortunately, due to the use of a vague definition of the degree of polarization of light, the cited author obtains an incorrect final expression for the irradiance. It would be also an interesting task for the reader to consider the case of partially polarized light with the polarized component showing elliptical polarization.

REFERENCES

- [1] E. L. Malus, Bull. Sci. Soc. Philom. Paris 7, 77 (1807).
- [2] V. L. Díaz-Melián, L. A. Rodríguez, E. Pedroso-Camejo, J. Mieres, Y. de Armas, A. J. Batista-Leyva, E. Altshuler, Rev. Cubana Fis. 36, 4 (2019).
- [3] S.M.F. da Silva and A.S. Laia, Rev. Bras. Ensino Fis. 45, 1806 (2023).

- [4] M. Born and E. Wolf, *Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light* (Cambridge University Press, Cambridge, 2019).
- [5] E. Hecht, *Optics* (Addison-Wesley, San Francisco, 2002).

- [6] M. Born, E. Wolf, *Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light* (Cambridge: Cambridge University Press, 2019).
- [7] I. Damian, arXiv:physics/0604073.

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.



MODIFICATION OF SUGARCANE BAGASSE DERIVATIVES WITH SUPERPARAMAGNETIC IRON OXIDE NANOPARTICLES, FOR THE EXTRACTION OF HYDROCARBONS

MODIFICACIÓN DE DERIVADOS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE HIERRO SUPERPARAMAGNETICAS, PARA LA EXTRACCIÓN DE HIDROCARBUROS

S. ALBUERNE-TORRES^a, O. GARCÍA-ZALDÍVAR^{d†}, A. ÁLVAREZ-DELGADO^b, A. BROWN-GÓMEZ^b, P. ARANDA^c, E. RUIZ-HITZKY^c, Y. GONZÁLEZ-ALFARO^{a†}

a) Centro de Estudios Avanzados de Cuba. Carretera San Antonio de los Baños e/ 179 y 340. Valle Grande, La Lisa, Habana, Cuba. 17100, Cuba; yorexis.gonzalez@gmail.com[†], sayli.at@cea.cu.

b) Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, 11000, Habana, Cuba; alvarezd@azcuba.cu.

c) Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC, c/ Sor Juana Inés de la Cruz 3, Cantoblanco, 28049 Madrid, España; eduardo@icmm.csic.es, pilar.aranda@csic.es.

d) Grupo de Materiales Ferrosos de Facultad de Física/Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana, San Lázaro y L, Vedado, Plaza, La Habana 10400, Cuba. osmany.garcia@gmail.com[†].

† corresponding author

Recibido 30/05/2023; Aceptado 3/10/2023

In this work, composites of magnetite nanoparticles embedded in sugarcane bagasse are obtained and characterized. The quasi-spherical shaped iron oxide nanoparticles, obtained by chemical methods, as well as the composite samples were physically characterized by different techniques. The diffraction patterns of the samples together with the EDX mapping of iron atoms on the surface of the samples confirm the homogeneous distribution of nanoparticles in these materials. The resulting composite materials retain the adsorption/absorption capacity of the bagasse as well as the superparamagnetic properties of the magnetite nanoparticles. These two combined properties facilitate the application of the nanocomposites as a hydrocarbon adsorbent material, with the potential to be easily extracted from the medium by means of an external magnetic field. The magnetic extraction of hydrocarbons broadens the versatility of the applications of the composite material described here, facilitating its dispersion in large areas of water without the need of barriers for its collection, representing a wonderful alternative for the remediation of uncontrolled oil spills.

En este trabajo se obtienen y caracterizan materiales composites formados por nanopartículas de magnetita ensambladas en bagazo de caña de azúcar. Las nanopartículas de dicho óxido de hierro obtenidas por métodos químicos presentan una forma cuasiesférica, y al igual que las muestras de los composites, fueron caracterizadas físicamente mediante diferentes técnicas físico-químicas. Los patrones de difracción junto al mapeo EDX de átomos de hierro en la superficie de las muestras, confirman la distribución uniforme de nanopartículas en estos materiales. Los materiales compuestos resultantes conservan la capacidad de adsorción/absorción del bagazo así como las propiedades superparamagnéticas de las nanopartículas de magnetita. Estas dos propiedades combinadas facilitan la aplicación del nanocomposite como material adsorbente/absorbente de hidrocarburos, con potencial para ser extraído fácilmente del medio acuoso utilizando un campo magnético externo. La extracción magnética de hidrocarburos amplía la versatilidad de las aplicaciones del material compuesto aquí descrito, facilitando su dispersión en grandes extensiones de agua sin necesidad de barreras para su recogida, representando una magnífica alternativa para la remediación de vertidos incontrolados de hidrocarburos.

PACS: Magnetic properties of nanostructures (propiedades magnéticas de las nanoestructuras), 75.75.-c; growth from solutions (crecimiento a partir de soluciones), 81.10.Dn; Other topics in magnetic properties and materials (otros tópicos en propiedades magnéticas y materiales), 75.90.+w.

I. INTRODUCTION

Sugar cane bagasse is one of the wastes generated by the sugar industry. Bagasse is the solid residual mass resulting from the process of extracting the juice from inside the stem of the cane. Also considered as an alternative energy source, bagasse is made up of insoluble granulated solids, soluble solids and a high percent of relative humidity. Depending on the humidity, the obtained densities range between 50 kg/m^3 and 96 kg/m^3 [1,2]. In general, it is reported to be composed of 40-46% insoluble granular solids, 6-8% soluble solids and 46-52% moisture [3,4]. It contains solid particles formed by two very different structures: the fibers, made up of cylindrical

(columnar) cells and hard-walled vascular tissues, and the medulla or core formed by parenchymal cells of irregular shape and thin walls of little structural strength [3,4]. The last one is found in the central region of the cane stem, it is spongy in nature and can absorb up to 20 times its own weight in water. The fibrous component, so-called pithless bagasse, can be separated using pith-removal equipment [1]. The development of depithing equipment and systems is well known in the sugar industry, which are used in the preparation of bagasse for the pulp paper industry and for manufactured of particle boards. Currently there is a trend to use dephiter

at the sugar mill with vertical rotors and different processing capacities. In Cuba two industrial models of vertical rotors depithers known SM Caribe 800 and SMCariibe 1500 were developed, and are used in the Cuban sugar industry for different purposes [5–7].

Sugarcane bagasse can be used for the absorption/adsorption of different contaminants, including hydrocarbons, due to both its chemical composition and its good adsorbent/absorbent properties [1, 3, 4, 8–11]. Currently, there is a broad variety of multifunctional composite materials in which a matrix is functionalized with nanoparticles, in which the properties of the resulting material are the combination of those of the starting components.

Magnetite iron oxide nanoparticles, with an inverse-spinel cubic structure, are widely used in obtaining composite materials due to their marked superparamagnetic behavior for particle sizes less than 20 nm. The superparamagnetic behavior is present in magnetic systems with non-interacting magnetic dipoles moments that can be easily reoriented in the direction of an applied magnetic field but return to a random configuration of the direction of their magnetic moments when the external magnetic field is removed. In other words, it is a system with no magnetic memory in which the magnetization as a function of the magnetic field can be described by a Langevin function [12].

A granulated system obtained through the anchoring and uniform distribution of these nanoparticles in a matrix, organic or inorganic, constitutes a superparamagnetic composite material called dry ferrofluid [13, 14, 16]. The property of the ferrofluid, switchable magnetizing/demagnetizing response to the external magnetic field's on/off commutation, is transferred to the porous solid by anchoring the magnetic nanoparticles in the active sites of the porous matrix [14–16].

The assembly of magnetic nanoparticles with porous solids of very diverse nature, including for instance inorganic solids as well as biopolymers and specifically lignocellulosic materials, represents an extraordinary option to develop superparamagnetic adsorbents and sorbents with a wide range of applications in environmental remediation [14, 16]. On the other hand, it is well known that diverse biomass-derived materials such as agricultural wastes have been considered as efficient and sustainable components of natural origin for the adsorption of oils and other pollutants present in contaminated water [17, 18]. The inclusion of magnetic nanoparticles such as magnetite iron oxide nanoparticles in this type of materials, including sugarcane bagasse, facilitates the recovering of the materials containing pollutants by application of external magnetic fields [14, 19–22].

A composite material, in which the superparamagnetic properties of magnetite nanoparticles are combined with adsorbent/absorbent properties of cane bagasse, improving physical-chemical interaction mechanisms, would be of great relevance for environmental remediation processes [9, 10, 13–16, 23]. The aim of this work is the obtaining of a granulated magnetite/bagasse composite and to evaluate the performance

of different components of bagasse (core and pithless bagasse) as hydrocarbons removers in polluted waters.

II. EXPERIMENTAL

The sugar cane bagasse used in this work comes from the Cuban Institute for Research on Sugar Cane Derivatives (ICIDCA). As was previously mentioned, bagasse is the solid fibrous residue that remains after the process of squeezing the stem to obtain the sugar cane juice. The obtained bagasse pith and the pithless bagasse, by-products of sugarcane processing, are shown in Fig. 1.

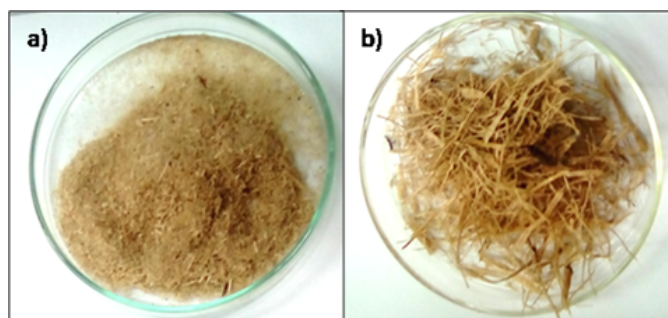


Figure 1. a) bagasse pith and b) pithless bagasse. As a size reference, the diameter of the petri dishes in the photographs are 9 cm.

After the depithing process, the by-products are sieved through different meshes. The BagM sample (pith of the bagasse) is the product that falls between the 1.19 mm and 0.15 mm meshes, while the BagD sample (pithless bagasse) corresponds to the product that remains above the 1.5mm mesh [24]. The characteristic humidity for these is 12 % and 10.69 % for BagM and BagD, respectively [24]. These two bagasse by-products, provided by Primero de Enero sugar mill, were used as organic matrix to obtain the composite.

Iron oxide nanoparticles were obtained by the coprecipitation method, according to that reported in [13, 14, 16]. High purity starting materials were used for the synthesis of iron nanoparticles. 4.86g of $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich, 99 % purity) and 3.34 g of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich, 99 % purity) were mixed in 40 ml of ultra-pure water (18.2 M Ω cm resistivity).

The solution, placed in a silicone oil bath at 90°C, was mechanically stirred at 164 rpm until the stabilization of temperature. After that, 0.9 ml of the surfactant agent oleic acid (Sigma-Aldrich, 99 % purity) was added. The solution was kept stirring for a few seconds before adding 12 ml of dilute ammonium hydroxide up to 25 %. A reaction takes place, resulting in a black precipitate. The system is kept at 90 ° C for 3 h under continuous stirring to ensure that the reaction occurs completely. Then, the precipitated solid is recovered with an iron-neodymium permanent magnet and washed multiple times with bi-distilled water until the drained water reaches a neutral pH. The resulting solid is rinsed with acetone, to remove residual surfactant, dried at room temperature in a fume hood for 24 h and grounded in a mortar. After the entire process, 1.8 g of a black powder, named magnetic

nanoparticles (NPM), is obtained. The elemental analysis, performed in a CNHS PERKIN ELMER 2400 Elemental Analyzer to estimate the weight of oleic acid respect to the total mass of the obtained material, determined the existence of an 84 % of magnetite.

To obtain the composite material, 1 g of NPM were added to 40 ml of n-heptane while the recipient is stirred in an ultrasonic bath for 15 min and then in a shaker for 5 min more to form a ferrofluid. Then, 1 g of bagasse (Bag-M or Bag-D) is added to the ferrofluid, repeating two times the former stirring procedure. The mixture is dried at room temperature in an extraction hood for 72 h and finally grounded on agate mortar. Nominally, a composite material with a 50/50 NPM to bagasse ratio was obtained. A schematic representation of whole process is represented in Fig. 2.

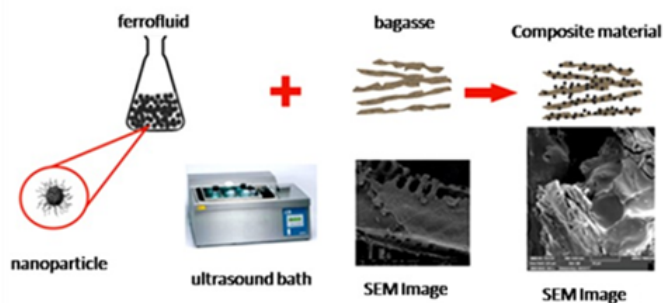


Figure 2. Protocol of preparation of the composite material.

The X-ray diffraction (XRD) characterization of the studied samples was performed in a Shimadzu, model XRD-7000, $\text{CuK}\alpha$ radiation diffractometer at room temperature. The interval 2θ scan from 10° to 80° with a step of 0.02° was set for all the samples. Additionally, a standard Si sample was measured under the same conditions to account for the instrumental contribution to the profile of the diffraction peaks.

The morphology and size distribution of the magnetic particles were determined through Transmission Electron Microscopy (TEM). Measurements were made in a JEOL JEM 2010 microscope, operating at an accelerating voltage of 120 kV. To visualize the nanoparticles, a water diluted suspension was prepared and dropped on a copper grid, superficially modified with a layer of carbon, allowing the solvent fully evaporation before performing the measurement.

The morphology of the composite material and the presence of iron in its structure were studied using field emission filament scanning electron microscopy (FE-SEM) by using a TESCAN model Mica3 OXFORD INSTRUMENTS Microscope with a coupled energy dispersive X-ray analysis system (EDS). The samples were fixed on a carbon adhesive tape on an aluminum sample holder and coated with a 10 nm film of gold to avoid charges accumulation.

The magnetic characterization was carried out in a superconducting quantum interference device (SQUID) model Quantum design MPMS XL-7T. The maximum magnetic field used was 30 kOe at room temperature. For

magnetic measurements, the granulated samples were packed in a conical bottom plastic vial and fixed to the bottom by adding a few drops of Kola Loka glue. Then, the bottom with the fixed sample was cut and attached to the sample holder of the magnetometer.

The adsorption capacity of the composites was performed by measuring the difference in mass of hydrocarbons before and after the extraction process. For that purpose, 50 ml of hydrocarbon are weighed in a 100 ml beaker and then 20 mg of the composite are added to the beaker while maintaining a constant mechanical agitation. After 1 min, following the magnetic extraction procedure reported elsewhere [13,14,16], the composite material is removed vertically by inserting a NdFeB (N50) magnet disk coated with a nickel alloy and a holding force of 17 kg. After 5 min, time needed to guarantee that the hydrocarbon not effectively adsorbed/absorbed in the composite drains back to the vessel, the beaker is then weighed and the difference in mass is calculated. The measurement was made with an analytical balance Model KERN ABT220-4M (precision grade 0.001 g). The used hydrocarbon was taken from two different areas of the Níco López refinery in Havana, with different degrees of viscosity given in API degrees by its acronym in English (American Petroleum Institute).

III. RESULTS AND DISCUSSION

The XRD pattern of the NPM/BagM composite and those of the individual components of the composite are presented in Fig. 3. The diffraction patterns of both NPM- Fe_3O_4 and the composite show the characteristic crystalline contribution, corresponding to the inverse spinel structure of the magnetite. The identification of crystallographic family of planes according to (JCPDS file No. 19-0629) is presented as well in that figure.

It is worth noting here that it is impossible differentiate magnetite (Fe_3O_4) and maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) from XRD patterns. However, it has been proven in previous reports [13, 16] that the coprecipitation of Fe^{2+} and Fe^{3+} salts at a controlled pH, in the presence of a surfactant, results in the precipitation of magnetite particles whose surface oxidizes to form maghemite. The superficial oxidation of magnetite to maghemite occurs through the rearrangement of the atoms without causing changes in the morphology of the nanoparticle, creating a superficial layer of maghemite on the magnetite nanoparticle [13, 16]. Therefore, magnetite nanoparticles with an outer surface layer of maghemite are most likely to be obtained.

An amorphous broadband contribution at low diffraction angles ($10^\circ < 2\theta < 40^\circ$) that correspond to the bagasse BagM it can be detected. As observed in Fig. 3, the diffraction pattern of the composite NPM/BagM presents the unaltered contributions of their individual components, which means that the functionalization procedure does not cause any changes in the starting materials. Hence, it is expected that the composite material maintains the properties of both the matrix as well as of the filler, so, the NPM/BagM would keep the adsorbent/absorbent nature of the bagasse and the

superparamagnetic behavior of magnetite nanoparticles. The diffraction pattern of the composite NPm/BagD (not shown here) presents the same behavior.

From the diffraction patterns and using the Debye-Scherrer equation, which relates the integral width of the peaks with the crystallite size, the average size of the crystallites was calculated for both isolated nanoparticles and composite systems. The instrumental contribution to the diffraction profile was considered by using a Si pattern, measured under the same conditions of those of the samples. The average crystallite size (coherent domain size) for iron nanoparticles, both in isolated nanoparticles and in composite materials, was 9.3 ± 0.7 nm, confirming that the process for obtaining the composite material does not influence the crystal growth of nanoparticles.

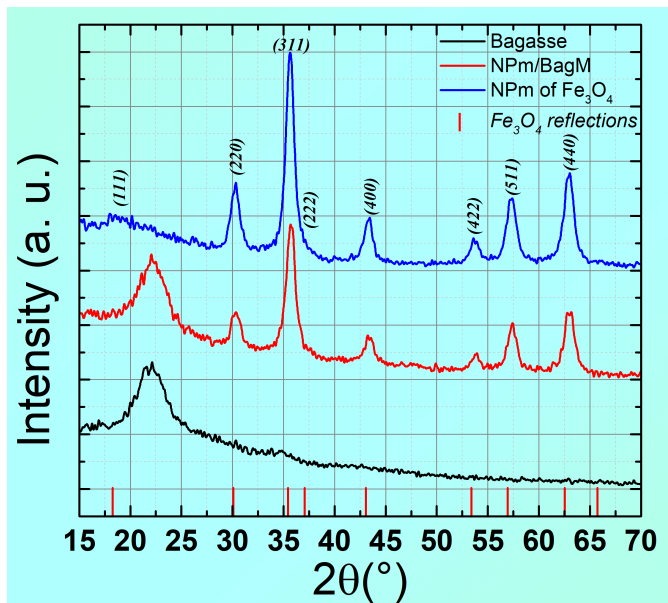


Figure 3. XRD of composite material NPm/BagM, nanoparticles of Fe_3O_4 and BagM samples.

The morphology and size of the isolated nanoparticles can be observed in the TEM image of Fig. 4. The magnetite nanoparticles (darker regions), quasi-spherical in shape, are embedded in (or coated by) oleic acid (lighter surrounding region). The particle size distribution is log-normal with an average size of 11.0 nm. This value is very close to that obtained by X-ray diffraction for the average crystallite size, suggesting the obtaining of monocrystalline nanoparticles, and is below the critical size (20 nm diameter) needed to display superparamagnetic behavior [25,26].

Fig. 5 show the SEM micrographs of both obtained composites. The Fig. 5 (top) shows the fiber structure of the pithless bagasse and the Fig. 5 (bottom) shows the high porosity structure with large cavities of the bagasse pith, as is described in the literature [27]. As it can be observed both matrices maintain their morphologies after being functionalized with the magnetite nanoparticles, so it can be expected that the composite material maintains the adsorption capacity of the

starting matrices reported in literature [27].

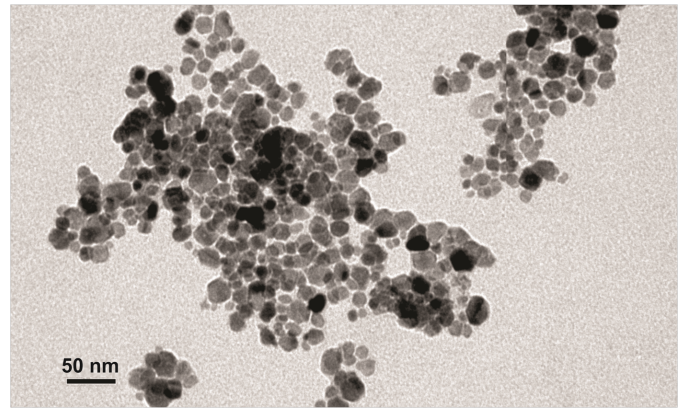


Figure 4. TEM image of isolated magnetite nanoparticles.

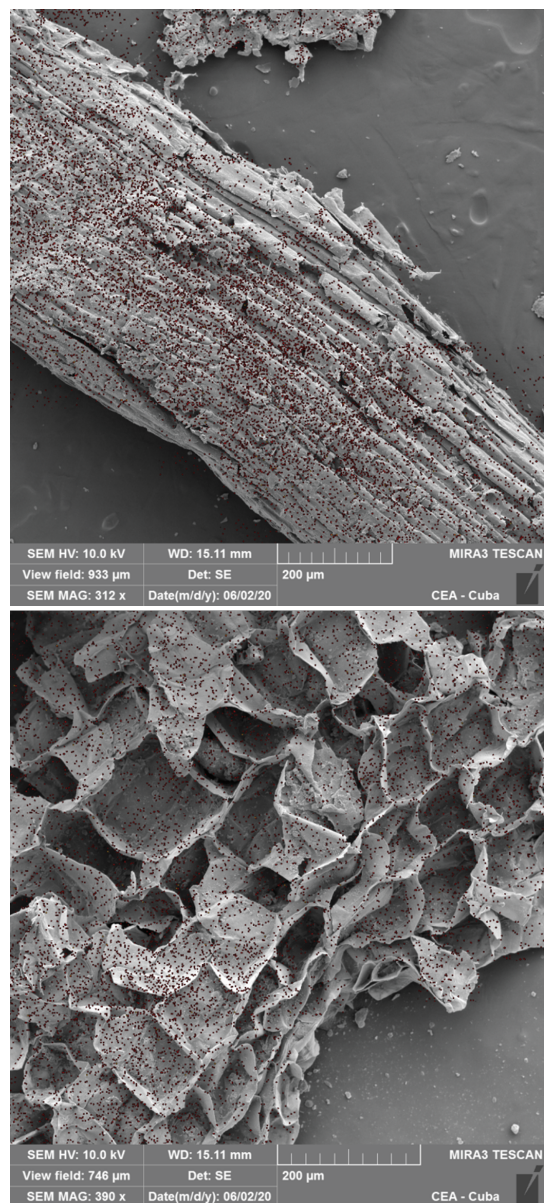


Figure 5. SEM image of the composite materials: NPm/BagD (top) and NPm/BagM (bottom).

Both images show the presence of red points that are the result of the superposition of the SEM image and the image obtained by EDX mapping of iron atoms in the same region. As can be observed, both for sample NPm/BagM and for NPm/BagD, the magnetite load is uniformly distributed throughout the entire surface of the bagasse matrix, which is fundamental for extraction.

The superparamagnetic nature of the nanoparticles and that of the composite NPm/BagM are evident from the magnetization curves in Fig. 6. They correspond to well saturated magnetic loops with near null remnant magnetization and coercive field, typical of diluted magnetic systems or systems with not-interacting dipoles moments. Similar results are obtained for NPm/BagD (not shown here).

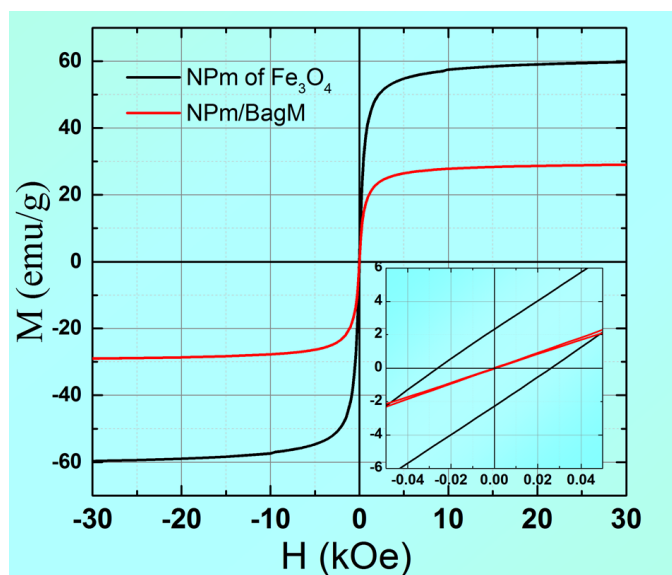


Figure 6. Magnetic hysteresis loops for the isolated nanoparticles and for NPm/BagM composite.

For massive magnetite materials, the magnetization saturation value (M_s) at room temperature is reported to be 92 emu/g [28, 29]. As it can be observed from Fig. 6, the magnetization saturation value for the isolated magnetite nanoparticles is determined to be 60 emu/g, far below of that reported for bulk systems. The difference in M_s between bulk and nanoparticles systems arise from surface effects. Below a critical size, the lack of symmetry and coordination of the outer layers of atoms at the surface of the nanoparticles effectively reduce the spin-spin coupling, leading to a decrease in magnetization [28, 29]. In a bulk material, the surface contribution is negligible, but becomes relevant with the decrease of the size as the surface to volume ratio increases.

Differences in the saturation magnetization values between the isolated nanoparticles and the composite came from the fact that the mass considered in the case of NPm/BagM is the total mass and not only that of the magnetite present in the composite.

The inset in Fig. 6 shows the region of low fields in which it can be observed, in the case of nanoparticles, a slight remnant magnetization of around 2 emu/g and a coercive

field of around 20 Oe. This result suggests the existence of agglomerates, possibly of the largest particles, in which a weak magnetic interaction between their dipole moments is established. In contrast, no remnant magnetization or coercive field can be observed for the NPm/BagM, probably due to the fact that the uniform distribution of the magnetite load in the composite avoids the nanoparticles agglomeration.

It is expected that the obtained composite materials maintain the properties of the matrix and the filler. If these properties are maintained within a certain range, the final composite material would maintain the adsorbent/absorbent nature of the bagasse matrix and the superparamagnetic behavior of the nanoparticles.

Table 1. Absorption capacity of composites

| RAW ρ (g/cm ³) | Absorption NPm/BagM (g _{Hyd} /g _{BagM-NPm}) | Absorption NPm/BagD (g _{Hyd} /g _{BagD-NPm}) |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| light (<870 kg/m ³) 64.65 API | 8.55 | 6.52 |
| | 8.72 | 6.48 |
| | 8.63 | 6.51 |
| Medium (<870-920 kg/m ³) 25.41 API | 7.03 | 4.93 |
| | 7.00 | 4.90 |
| | 7.02 | 4.89 |

In order to determine the absorption capacity, expressed in grams of hydrocarbon per grams of used composite material, a study was carried out following the procedure described in the experimental section. The results, presented in Table 1, compare the values of the hydrocarbon absorption measured for two crude fuels with different density values in the two studied adsorbent/absorbent matrices. Three different experiments were run for each crude fuel with no significant statistical differences.

The absorption capacity values for the bagasse pith composite NPm/BagM are relatively higher than those obtained for the pithless bagasse composite NPm/BagD. These results are directly related to the microstructural characteristics of the organic matrix. As it was described previously, the bagasse pith presents a highly porous structure with large cavities. This microstructure, similar to foam, has a larger surface area density than that of pithless bagasse, facilitating the functionalization of nanoparticles at its surface and so improving the magnetic separation process. At the same time, the microstructure has a larger exchange area and cavities that improve the adsorption and absorption of hydrocarbons. In fact, both composites have higher values of absorption capacity than those reported in literature for bagasse (4.39 g_{Hyd}/g_{Bag}) [30], being the magnetic extraction easier to perform than that of the reported method. In addition, the material resulting from the extraction of the crude has a higher heat capacity than the original bagasse because it contains residual oil and can therefore be advantageously reused as fuel [2, 30].

Furthermore from Table 1 it can be deduced a decrease in the absorption with the increase in hydrocarbon density. It was previously reported [29] that the decrement in absorption capacity with density is related to the viscosity of the fluid; the

lower the viscosity of the hydrocarbon, the better it will flow inside the material, completely filling its pores and cavities.

IV. CONCLUSIONS

The successful preparation of a composite material by the assembly of bagasse and magnetic iron oxide nanoparticles has been reported. A detailed characterization of the physical properties of these nanoparticles allows controlling the nature of the resulting composites. The diffraction patterns of such nanoparticles are mainly consistent with the presence of magnetite phase. The formation of maghemite, although in small quantities as a thin outer layer of the nanoparticle cannot be ruled out. The combined results of TEM and DRX confirm the formation of quasi-spherical monocrystalline nanoparticles. These results are consistent with the slim hysteresis loop obtained for nanoparticles corresponding to both composites.

The composite materials preserve the superparamagnetic behavior and the adsorption/absorption capacity of the pristine magnetite nanoparticles. The absorption capacity tests confirm that the extraction mechanism using these materials is more effective than others previously reported and reveal that bagasse pith has higher absorption capacity than pithless bagasse. The application of bagasse as a hydrocarbon collector material in aqueous medium, with the potential to be extracted from the medium by means of an external magnetic field increases the performance of the material, enabling its dispersion in large areas of water without the need of barriers for its collection. Therefore, these sustainable materials that allow the use of lignocellulosic agro-food waste are an attractive alternative to eliminate hydrocarbons in water and especially in catastrophes caused by oil spills.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the grant PN211LH008-006 from the Cuban National Nanoscience and Nanotechnology Program (PN3). P.A. and E.R.-H. acknowledge financial support by the MCIN/AEI/10.13039/501100011033 (Spain, project PID2019-105479RB-I00), as well as LignoCOST (E.U. COST Action CA17128).

REFERENCES

- [1] G. A. Roca Alarcón, C. Glauco Sanchez, E. Olivares Gómez, L. A. Barbosa Cortez, *Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte 1: características físicas* (Centro de Estudios de Eficiencia Energética-CEEFE, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, 2006).
- [2] A. D. Rodríguez Arias y L. B. Rosabal Ponce, *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba* **7**, 78 (2017).
- [3] L. González, *ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* **17**, 4 (1983).
- [4] J. L. Correa, *Revista ICIDCA. Editorial Científico-Técnica*, 77 (1982).
- [5] *Handbook of sugar cane Derivatives* (Third Edition, MINAZ. 2000).
- [6] O. Triana, M. Leonard, F. Saavedra, N. Fernández, y G. Gálvez, *Atlas del Bagazo de la Caña de Azúcar*, Mexico City (México) GEPLACEA 1990, Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar. https://digitalcollections.qut.edu.au/1529/1/Atlas_of_Sugarcane_Bagasse.pdf.
- [7] O. Almazán del Olmo, A. Hernández Gutiérrez, M. A. Brizuela Herrada, O. Carvajal Cabo, G. N. Arias Polo, y N. Fernández Rodríguez, *El bagazo de la caña de azúcar, conocimiento y potencial* (La Habana, Editorial ICIDCA, 2013).
- [8] A. Armada, E. Barquinero, y E. Capote., *ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* **XLII**, 96 (2008).
- [9] V. Raj, M. Singh Chauhan, and S. Lal Pal, *Chemosphere* **307**, 135825 (2022).
- [10] Aruna, N. Bagotia, A. Kumar Sharma, and S. Kumar, *Chemosphere* **268**, 129309 (2021).
- [11] G. Lemessa, N. Gabbiye, and E. Alemayehu, *Water Practice and Technol.* **18**, 393 (2023).
- [12] Y. Fernández-Afonso, A. Maury-Toledo, O. García-Zaldívar, M. A. Hernández-Landaverde, R. Ramírez-Bon, J. M. Yañez-Limón, S. Díaz-Castañón, Y. González-Alfaro, y F. Calderón-Piñar, *Rev. Cubana Fis.* **34**, 3 (2017).
- [13] Y. González- Alfaro, *Ensamblado de nanopartículas magnéticas de magnetita a sólidos porosos por interacción con ferrofluidos para el desarrollo de materiales multifuncionales*, PhD Thesis, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2016.
- [14] E. Ruiz-Hitzky, P. Aranda, and Y. González-Alfaro. Spanish Patent 201030333, 2010; PCT ES2011/070145, (2011).
- [15] M. F. Horst, V. Lassalle, and M. L. Ferreira, *Front. Environ. Sci. Eng.* **9**, 746 (2015).
- [16] Y. González-Alfaro, P. Aranda, F. M. Fernandes, B. Wicklein, M. Darder, and E. Ruiz-Hitzky, *Adv. Mater.* **23**, 5224 (2011).
- [17] A. Bhatnagar, M. Sillanpaa, and A. Witek-Krowiak, *Chem. Eng. J.* **270**, 244 (2015).
- [18] A. Sanguanwong, A. E. Flood, M. Ogawa, R. Martin-Sampedro, M. Darder, B. Wicklein, P. Aranda, and E. Ruiz-Hitzky, *Journal of Hazard. Mat.* **417**, 126068 (2021).
- [19] Ph. Zito and H. J. Shipley, *RSC Adv.* **5**, 29885 (2015).
- [20] K. B. Debs, D. S. Cardona, H. D. T. da Silva, N. N. Nassar, E. N.V.M. Carrilho, P. S. Haddad, and G. Labuto, *J. Environ. Mgt.* **230**, 405 (2019).
- [21] D. S. Cardona, K. B. Debs, S. G. Lemos, G. Vitale, N. N. Nassar, E. N. V. M. Carrilho, D. Semensattoe, and G. Labuto, *J. Environ. Mgt.* **242**, 362 (2019).
- [22] G. da Costa Cunha, N. C. Pinho, I. A. Alves Silva, L. Santos Silva, J. A. Santana Costa, C. M.P. da Silva, and L. P.C. Romão, *J. Environ. Mgt.* **247**, 9 (2019).
- [23] R. Juwita, C. Irawan, R. Jelita, and I. F. Nata, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **980**, 012006 (2020).
- [24] O. Carvajal, J. Puig, J. A. Leal, y M. E. Rodríguez, *ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* **19**, 19 (1985).

- [25] C. T. Yavuz, J. T. Mayo, W. W. Yu et al., *Science* **314**, 964 (2006).
- [26] L. Martín, M. Knobel, and J. Marcelo, *Rev. Cubana Fis.* **20**, 9 (2003).
- [27] D. Dopico-Ramírez, V. León-Fernández, C. Díaz-López, E. Peña-Sartorio, y M. Isabel Céspedes-Sánchez, *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* **50**, 29 (2016).
- [28] R. M. Cornell and U. Schwertmann. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses. 2nd Ed.* (Wiley VCH Weinheim, Germany. 2004)
- [29] A. Gómez, Preparación de nanopartículas magnéticas uniformes y de alta cristalinidad, PhD Thesis, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, (2009).
- [30] A. Brown-Gómez, J. Alberto Pérez-Hernández, y Y. Izquierdo-González, *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar* **49**, 10 (2015).

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.



INFLUENCE OF THE DIP AND SPIN COATING METHODS ON THE SEEDING FOR THE GROWING OF CuO NANORODS BY A HYDROTHERMAL TECHNIQUE

INFLUENCIA DE LOS MÉTODOS DE INMERSIÓN Y CENTRIFUGADO EN LA DEPOSICIÓN DE SEMILLAS PARA EL CRECIMIENTO DE NANOBARRAS DE CuO POR UNA TÉCNICA HIDROTHERMAL

S. FORTUNÉ-FÁBREGAS^a, J. BENAVIDES^a, A. M. DÍAZ-GARCÍA^b, Y. GONZÁLEZ^c, A. RUEDIGER^c AND L. VAILLANT-ROCA^{a†}

a) Photovoltaic Research Laboratory, Institute of Materials Science and Technology-Physics Faculty, University of Havana, Cuba; †

b) Inorganic and General Chemistry Department, Bioinorganic Laboratory (LBI), University of Havana, Cuba.

c) Institut National de la Recherche Scientifique- Énergie, Matériaux, Télécommunications, 1650 Boulevard Lionel-Boulet, J3X 1S2, Varennes, Québec, Canada.

† corresponding author

Recibido 11/05/2023; Aceptado 20/10/2023

Copper(II) oxide (CuO) nanostructures based solar cells have a great potential due to the optimal absorber characteristic of this material. Furthermore, CuO is stable, composed by abundant elements in the Earth's crust and can be obtained by inexpensive and simple synthesis methods. The substrates seeding is an important technological step with great influence in the morphology of CuO nanorods obtained by the hydrothermal technique. We have studied the influence of dip coating and spin coating as seeding techniques on the CuO nanorods properties. The materials are also evaluated after a sequential annealing until 500°C. The samples were characterized by means of scanning electron microscopy (SEM) and Raman spectroscopy.

El óxido de cobre(II) (CuO) es un material inorgánico estable con óptimas propiedades para su aplicación como material absorbente en celdas solares. Además, está compuesto por elementos abundantes en la corteza terrestre y puede ser obtenido por métodos simples y de bajo costo. El semillado de los sustratos tiene una gran influencia en la morfología y alineación vertical de nanobarras de CuO obtenidas mediante la técnica hidrotermal. En este trabajo se estudia la influencia de la inmersión y el centrifugado como técnicas de semillado en las características de las nanobarras de CuO. También se evalúa el efecto del tratamiento térmico secuencial hasta 500°C. Los materiales obtenidos fueron caracterizados mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía Raman.

PACS: Nanoscale materials fabrication and characterization (fabricación y caracterización de materiales a nanoescala), 81.07.-b; materials treatment effects on nanostructures (efectos del tratamiento de materiales en semiconductores), 81.40.-z; Raman spectra of semiconductors (espectro Raman de semiconductores), 78.30.Am.

I. INTRODUCTION

Nanostructured transition metal oxides (TMO) have attracted a great attention because of their versatility, abundance, low toxicity, and simple and low-cost obtention techniques [1–3]. TMO are used in photodetectors, gas sensors, superhydrophobic surfaces and solar cells [1]. A few p-type metal oxides exist in nature that can be used as absorbent materials in photovoltaic devices [1, 3, 4]. Among these, copper(II) oxide (CuO) has an suitable band gap of 1.21–1.55 eV [1]. CuO is also stable, non-toxic and composed by abundant elements in the Earth's crust [5,6]. These advantages make this material very promising for solar cells.

Indeed, there are several reports of CuO nanostructures obtained by solution-based methods due to their low cost and effectiveness to produce nanostructures at large scale and low temperatures [2, 7]. In general, the preliminary substrate preparation is critical for the achievement of a homogeneous surface coverage with these techniques. In particular the hydrothermal method requires a pre-deposition of the seed layer which provides specific nucleation points, facilitating the growth of elongated nanoparticles with

excellent alignment, columnar aspect and space between them for further infiltration process, on almost any substrate like TCO (transparent conductive oxide), glass and even polymers [8, 9]. Dip coating and spin coating are widely used as low cost seeding processes. They are both simple experimental techniques with different advantages. Spin coating is faster and allows the preparation of thinner seed layers in comparison with dip coating. On the other hand, dip coating can be manually performed with great reproducibility. Taking into consideration the great impact of the seeds layer in the nanorods morphology, the main goal of this work is to evaluate both; spin coating and dip coating, as seeding methods for the preparation of CuO nanorods with potential applications as absorber materials in nanostructured solar cells. The CuO nanorods are obtained on top of spin coated and dip coated seeded substrates and are analyzed and compared by SEM and Raman spectroscopy. Additionally, a selected sample are thermally treated in air, in a sequential process looking to further improve the properties of the absorber material.

II. EXPERIMENTAL DETAILS

Substrate cleaning process: The substrates were cleaned using two different processes to improve the CuO seed layer adherence. First, they were washed with a soap solution and rinsed with distilled water. Then, the substrates were immersed in a nitric acid and water solution (1:2), again rinsed with water and later ultrasonicated in distilled water during 15 minutes. In the other method the slides were soaked in ethanol and ultrasonicated after the previous cleaning process during 10 minutes followed by soaking in 1 M solution of KOH and ultrasonicated during the same amount of time. The glass substrates were finally rinsed in the ultrasonic bath in distilled water during 20 minutes [10].

Deposition of CuO seed layer and CuO nanorods synthesis: Dip coated seeds samples were prepared by wetting the substrate during one minute with a 5 mM copper acetate solution in ethanol on the substrate, and later tilting it to drain the excess solution. Once the remaining solution dries out, the wetting, draining and drying process were repeated for 5 times. In the spin coating technique, the same copper(II) acetate solution was spin-coated on the substrates at 2000 rpm during 20 seconds for four times. Then the samples obtained by the two techniques were treated in air at 250 °C for 30 minutes to form the CuO seeds layer from the copper(II) acetate thermal decomposition. The CuO nanorods were grown by chemical bath deposition (CBD) by placing the CuO seeded substrate upside down in an equimolar 0.025 M aqueous solution of copper(II) nitrate trihydrate ($Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, Merck GR for analysis) and hexamethylenetetramine (HMT, Sigma-Aldrich ACS reagent $\geq 99.0\%$) at 90 °C for 4 hours. After reaction, the resulting nanorods were thoroughly rinsed with distilled water and ethanol, and dried under a nitrogen gas stream [5]. The seeding layer and nanorods growing processes are depicted in Fig. 1.

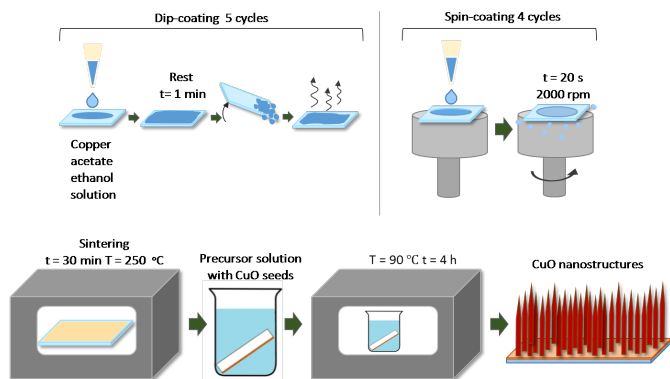


Figure 1. CuO NRs synthesis process.

CuO nanorods heat treatments: The spin coating samples were treated using a cumulative thermal treatment from 200 to 500 °C in air during 1 hour in each cycle. To perform this, the as grown samples is introduced in the oven and taken at 200 °C during 1 hour after which one sample was retired. This sample is labeled 200 °C. The rest were kept in the oven and taken into 300 °C for another hour after which a second sample labeled

200 + 300 °C was extracted. The process is repeated until the last sample had received the 4 sequential treatments 200, 300, 400 and 500 °C. This cumulative process would increase the crystalline quality of the samples in a continuous process.

Characterization and instruments: The samples were characterized by means of Scanning Electron Microscopy (SEM) using a Hitachi S530 G microscope. Raman spectroscopy was carried out with a confocal optical microscope coupled with a modular Raman spectrometer from Horiba (iHR320). The light source was a continuous wave diode-pumped solid-state laser with a wavelength of 473 nm (Cobolt Inc.), linearly polarized operating in single mode TEM 00.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Copper(II) oxide nanorods were successfully obtained, as Fig. 2 displays, on top of substrates seeded by dip and spin coating methods. The substrates were homogeneously covered by tapered CuO nanorods with leaves morphology leading to comparably similar materials thicknesses of 427 and 405 nm for spin and dip coating seeded samples respectively (inserts in Fig. 2a and 2c). These values are around the optimal thickness for achieving good light absorption in CuO thin films [11]. The multiple optical reflection as a result of the interaction between the light and the tapered nanorods would increase the optical pathway giving space for a further minimization of this thickness value in the nanostructured samples. The spin coating seeded sample shows an apparent higher porosity than the dip coating seeded one.

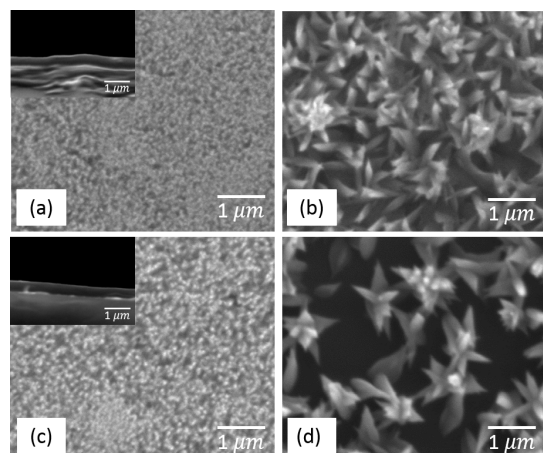


Figure 2. SEM images of CuO NRs samples. Surface and cross sectional view of dip coating (a and b) and spin coating (c and d) samples.

In the samples borders for both type of procedures (Fig. 2b and 2d), the surface coverage is not complete and the nanorods are larger, with a tendency to create nanoflowers in the spin coating seeded sample. This would be produced by a difference in the seeds density and sizes from the center to the borders, which is a possible feature in both types of deposition techniques to be taken into account. Larger seeds increase the tapered nanorods size with a detrimental effect in the vertical alignment [12]. This effect is stronger in the spin coating

sample, suggesting a larger impact of this problem by using this technique.

Fig. 3 shows the Raman spectra of CuO bulk [13] and the tapered nanorods samples, confirming that the grown CuO belongs to space group C_{2h}^6 with monoclinic structure. The standard sample data was provided by the RRUFF Project, and belongs to a massive sample of the mineral tenorite (RRUFF ID:R060978). CuO present 3 Raman active modes ($A_g + 2B_g$) [14]. The peaks at 281 and 287 cm^{-1} were assigned to A_g , while 327 and 338 cm^{-1} to B_{g1} , and 617 and 616 cm^{-1} to B_{g2} modes. The shift to lower wavenumbers are generally explained due to size effects in comparison with the bulk material [13]. A_g and B_{g1} tend to be sharper in spin coated seeded samples suggesting that CuO layers obtained by this method have a better crystalline quality. This sample was selected for the following thermal treatment.

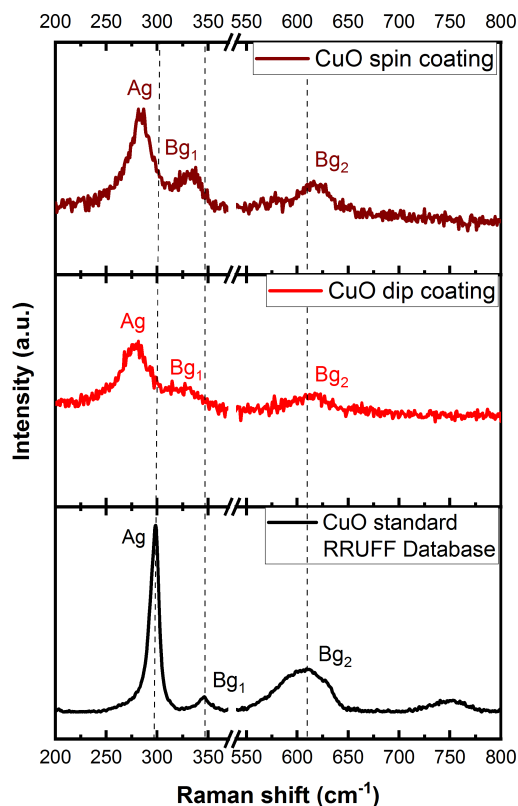


Figure 3. Raman spectra of CuO NRs samples obtained by different seed deposition methods. (RRUFF Project, <https://rruff.info/>)

Thermal treatments, among other advantages, improve the crystalline quality, especially in materials obtained by low cost methods. After CuO NRs synthesis the spin-coated samples were thermally treated using the sequential method previously described in the experimental section. Fig. 4 presents the surface SEM pictures, showing the increase in nanorods diameter size with thermal treatment. In particular for the sample annealed until 500 °C , the rods tend also to be more compact, with an apparent decrement of the porosity of the sample, which would later introduce a barrier for the infiltration of the electron transporter material. This result suggests the need for keeping thermal treatment temperatures below 500 °C for sequential treatment in such a way to improve the crystallinity without a detrimental effect in the

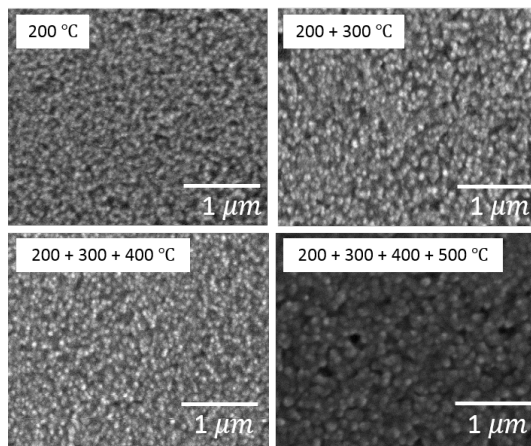


Figure 4. SEM images of CuO NRs thermally treated.

Fig. 5 shows the Raman spectra for the as grown and annealed samples. The peaks position and FWHM can be seen in Table 1, where is possible to observe that A_g and B_{g1} peaks become sharper with the increase of thermal treatments temperature, evidencing the improvement in crystallinity with the annealing process. The peaks show displacements to higher wavenumbers which has been previously reported as a result of larger grains [15]. The increments in grain sizes is a common consequence of thermal treatment as well.

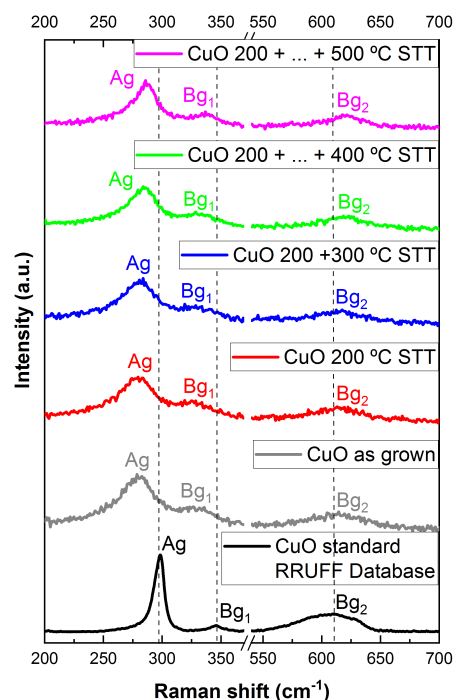


Figure 5. Raman spectra of sequential thermally treated CuO NRs.

IV. CONCLUSIONS

CuO NRs were obtained by an hydrothermal low cost method on top of dip- and spin-coated seeded substrates. The spin coating seeding method produce a CuO nanorod layer with a

slight better crystalline quality than dip coating, according to the Raman spectra, but worse surface coverage homogeneity. Taking this into account, spin coating can be selected as a better option for the seeding process. The sequential thermal treatment (STT) increases the crystalline quality as reaches the 500 °C, and a decrease in the porosity of the sample, probably due to grain size increment. This suggests limiting the thermal treatment below this value, achieving a compromise between crystalline quality and porosity.

V. ACKNOWLEDGMENTS

We thank to Lic. Nicolás Alberto Sirgado Pérez and MsC. Odín Vázquez Robaina from LUCES-Structural Laboratory of the Institute of Materials Science and Technology, University of Havana, (IMRE-UH) for the SEM images.

This work is under the projects No. 17/2-2019 of the National Program of Nanoscience and Nanotechnology (PN3) and P223LH001-077 of the National Program of Basic Sciences, Cuba.

REFERENCES

- [1] Q. Zhang et al, *Prog. Mater. Sci.* **60**, 208 (2014).
- [2] T. H. Tran and V. T. Nguyen, *Int. Scholarly Res. Not.* **2014**, 14 (2014).
- [3] A. S. Zoolfakar et al, *J. Mater. Chem. C* **2**, 5247 (2014).
- [4] H. Kidowako et al, *J. Mater. Sci. Res.* **1**, 138 (2012).
- [5] F. Wu et al, *Nanotechnology* **29**, 215403 (2018).
- [6] D. L. Anderson, *Theory of the Earth* (Blackwell Scientific Publications, Cambridge, UK; New York, US, 1989).
- [7] F. Zhang et al, *Phys. Chem. C* **114**, 19214 (2010).
- [8] N. Basinova et al, *Crystals* **9**, 566 (2019).
- [9] M. Kokotov and G. Hodes, *J. Mater. Chem.* **19**, 3847 (2009).
- [10] K. D. Malviya et al, *J. Mater. Res.* **31**, 1565 (2016).
- [11] T. Dimopoulos et al, *J. Renewable Sustainable Energy* **5**, 11205 (2013).
- [12] A. Peukert et al, *Sol. RRL* **1**, 1700132 (2017).
- [13] B. Lafuente, R. T. Downs, H. Yang and H. Stone, *Highlights Mineral. Crystallogr.*, 1-29 (Walter de Gruyter GmbH, 2016).
- [14] J. C. Irwin, T. Wei and J. Franck, *J. Phys. Condens. Matter* **3**, 299 (1991).
- [15] J. F. Xu et al, *J. Raman Spectrosc.* **30**, 413 (1999).

Table 1. Position and FWHM of Raman peaks for the as grown and thermally treated CuO NRs.

| Sample | Ag | | Bg ₁ | | Bg ₂ | |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| | Peak Position (cm ⁻¹) | FWHM (cm ⁻¹) | Peak Position (cm ⁻¹) | FWHM (cm ⁻¹) | Peak Position (cm ⁻¹) | FWHM (cm ⁻¹) |
| as grown | 279 | 45 | 326 | 31 | 614 | 45 |
| 200°C | 280 | 51 | 329 | 21 | 613 | 43 |
| 200°C + 300°C | 284 | 54 | 329 | 12 | 617 | 40 |
| 200°C+...+400°C | 284 | 39 | 329 | 21 | 618 | 33 |
| 200°C+...+500°C | 286 | 32 | 337 | 16 | 621 | 28 |

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.



EFFECTIVENESS OF FLIP-BOOK OPTIC DEVICES BASED ON PROBLEM BASED LEARNING ASSISTED WITH VIRTUAL LABORATORY SIMULATION TO IMPROVE HIGH SCHOOL STUDENTS' VISUAL REPRESENTATION

LA EFECTIVIDAD DE DISPOSITIVOS ÓPTICOS FLIP-BOOK BASADOS EN EL APRENDIZAJE EN BASE A PROBLEMAS ASISTIDO CON SIMULACIÓN DE LABORATORIO VIRTUAL PARA MEJORAR LA REPRESENTACIÓN VISUAL DE LOS ESTUDIANTES DE SECUNDARIA

R. SEBASTIAN^{a,b†}, H. KUSWANTO^a, J. JUMADI^{a,c}, N. P. PUTRI-HASPARI^a

a) Department of Physics Education, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Yogyakarta. Jl. Colombo No. 1, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia. riosebastian.2022@student.uny.ac.id

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

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

† corresponding author

Recibido 20/09/2023; Aceptado 20/11/2023

Optical devices are a complex material, most of the concepts are related to abstraction and visualization such as the formation of shadows and light trails, so that a good visual representation is needed to achieve this material competence. Visual representation in physics learning is important, but some teachers still find it difficult to instill this ability due to media constraints. Therefore, this study uses PBL-based flip-book media assisted by virtual laboratory simulations to overcome this problem. This study aims to determine the effectiveness of PBL-based flip-books assisted by Virtual Laboratory Simulation in improving students' visual representation skills on optical instrument material. The method used is quantitative with quasi-experimental methods, pretest and posttest through instruments based on visual representation indicators. The experiment was conducted in grade 11 of senior high school's student. The results of this study indicate that the use of PBL-based flip-books assisted by Virtual Simulation has a positive effect on students' visual representation abilities. This is shown in the acquisition of the N-Gain value of 0.828 in the high category. This study concludes that the use of PBL-based flip-books assisted by virtual lab simulations improves students' visual representation abilities.

Los dispositivos ópticos son un material complejo, la mayoría de los conceptos están relacionados con la abstracción y la visualización como la formación de sombras y estelas de luz, por lo es necesaria una buena representación visual para lograr competencia en este material. La representación visual en el aprendizaje de la física es importante, pero a algunos profesores todavía les resulta difícil inculcar esta habilidad debido a las limitaciones de los medios. Por lo tanto, este estudio utiliza medios de libro animado basados en PBL asistidos por simulaciones de laboratorio virtual para superar este problema. Este estudio tiene como objetivo determinar la efectividad de los flip-books basados en ABP asistidos por la simulación de laboratorio virtual para mejorar las habilidades de representación visual de los estudiantes en el material de instrumentos ópticos. El método utilizado es cuantitativo con métodos cuasi-experimentales, pretest y posttest a través de instrumentos basados en indicadores de representación visual. El experimento se llevó a cabo en el grado 11 de la escuela secundaria. Los resultados de este estudio indican que el uso de flipbooks basados en ABP asistidos por Simulación Virtual tiene un efecto positivo en las habilidades de representación visual de los estudiantes. Esto se muestra en la adquisición del valor de N-Gain de 0,828 en la categoría alta. Este estudio concluye que el uso de flip-books basados en ABP asistidos por simulaciones de laboratorio virtual mejora las habilidades de representación visual de los estudiantes.

PACS: Computer as educational aids (la computación como ayuda educativa), 01.50.H-; optical devices (dispositivos ópticos), 42.79.-e; physics education (educación física), 01.40.-d; teaching methods (métodos de enseñanza), 01.40.gb; visual perception (percepción visual), 42.66.Si.

I. INTRODUCTION

In learning physics, students cannot be separated from the abstraction and analysis of an image case or demonstration to understand the concepts and principles of physics. Visual representation as one of the representation abilities used to understand physics learning through an image, diagram, or graph that is presented in the case of physics problems. Visual representation is an ability to understand an image,

diagram, table and graph [1]. Visual representations consist of notational representations that attempt to reduce reality in a particular way and non-notational representations that provide a view of the various complex meanings of reality. [2]. However, some of these representations need to be interpreted from one form to another so that this ability can be applied easily to solve multi-representational problems [3]. Visual representation for students plays an important role in creating information, understanding abstract text

retention and communicating scientific phenomenon data for problem solving in the learning process [4, 5]. In physics learning, the importance of developing visual representations can foster science process and problem solving skills in students' scientific method processes [6, 7]. However, visual representation is a complex ability and consists of many components at different levels, so that students face difficulties in replicating the visuals they have in mind [8–10].

Difficulties in visualizing often arise in physics learning, because the material is abstract and complex, one of which is optical instrument material [11, 12]. Optical instrument material is a difficult topic in basic physics, because it involves complex abstractions and concepts that make it difficult for students to understand and misconceptions are often found [13, 14]. Most of the problems with this optical instrument material come from the problem of visual representations of students [15, 16]. This is supported by the research of Özdemir which states that the level of conceptual understanding of optometrists regarding optical materials and light is still low, which indicates that there are still misconceptions and difficulties in describing optical cases precisely [17]. In addition, the use of textbooks which are commonly used in schools does not support students in developing optical instrument material activities directly and tends to be low in inquiry [18]. Therefore, learning optical devices requires a medium that can help students visualize while directing students in building abstract and complex concepts, one of which is a Flip-book assisted by virtual laboratory simulations.

The use of flip-books in the learning process is an innovative learning media in the technological era that can facilitate the fulfillment of student teaching materials. Flip-book is an electronic book device that is equipped with multimedia such as sound images, animations and videos interactively which aims to make it easier for students to access in real time [19, 20]. Basically, flip-book technology is an animation that is designed from a pile of paper that resembles a thick book on each page and is abstracted as an animated process [21]. The use of Flip-books has several advantages which include making it easy for students to access them, interactive displays, environmentally friendly because they save paper use, are not easily damaged, more affordable prices and have multimedia [19, 22]. This is supported by research by Suyasa and Aswanti who developed flip-book media that can help improve student cognitive learning outcomes and critical thinking skills [23, 24]. Therefore, the presentation of instructional media in the form of flip-books is of interest to students so that they can be motivated and easily accept concepts presented through multimedia such as pictures, sound or videos. Even to support physics experiments, you can add a virtual laboratory link into the flip-book.

Most of the physics learning in schools is still difficult to do practicum because there are several constraints both infrastructure and time factors. While practicum is important for students to develop abstraction skills and abilities. However, this can be overcome in the current technological era, namely using a virtual laboratory. A virtual laboratory is a software that is used to carry out practical simulations of

influences, investigations or phenomena in learning without explaining verbally via virtual [25]. Virtual laboratories can help students make observations and discover a concept effectively and practically [26]. The use of virtual laboratories can visualize physical phenomena and their concepts with animation and simulate concepts related to students' daily lives so as to develop students' mastery of abstraction, motivation, learning interest and understanding of concepts [27, 28]. Practicum activities through a virtual laboratory have a positive impact on scientific skills, and visual representation of students [29, 30]. The advantages of a virtual laboratory include providing safety, security because it does not interact with real tools and materials that are at risk, makes it easier for students to practice repeatedly, provides easy access in conducting practicums, and minimizes the cost of procuring practicum materials [31, 32]. In previous research, Abdjul stated that the development and implementation of virtual laboratory-assisted learning obtained very good responses from students and had a significant increase in learning outcomes after the learning process [33]. Furthermore, it is supported by Husnaini's research results which state that learning using virtual laboratories can have a positive impact on students' multiple representations, one of which is visual representation [34]. Therefore, the use of virtual laboratories can be applied in learning physics on abstract and complex material so that it can improve students' visual representation skills. However, the expected visual representation in physics learning must be able to solve a problem so that a learning model is needed, namely Problem Based Learning (PBL).

Problem-based learning is a learning model that presents a problem to motivate students to understand concepts, so that it emphasizes solving students' real problems in collaboration or active group discussion under the direction of the teacher [35–37]. An indication of the success of the Problem Based Learning model is in encouraging students to be more active in applying all information, finding problems, and planning solutions in creative and innovative ways [38, 39]. The impact of applying the problem based learning model is that students can have skills in communicating, solving problems, critical thinking, and learning independently [40, 41]. In addition, the problem-based learning model combined with TPACK (Technology, Pedagogy and Content Knowledge) has a positive impact on learning outcomes and learning activities which are characterized by students who are enthusiastic and enthusiastic about participating in the learning process [42]. This is supported by Fidan and Prahani's research. By applying the problem based learning model in learning technology media, students can improve achievement, solve problems and have a positive attitude towards physics [43, 44]. Therefore, the Problem Based Learning model can support this research to direct students' visual representation abilities that can solve problems in physics concepts.

Therefore, in this study the implementation of Flip-book learning media will be carried out on optical instrument material using the Problem Based Learning model with the help of virtual laboratory simulations so that learning is more interactive, and provides easy visualization to students on the abstract concept of optical devices. In addition, this

research was conducted to have a positive impact on students' visual representation abilities in learning physics, one of which is optical instrument material. Based on several existing exigencies, this study aims to determine the effectiveness of PBL-based flip-books assisted by Virtual Laboratory Simulation in improving students' visual representation skills on optical instrument material.

II. METHOD

This research is a quasi-experimental research that uses a one group pretest-posttest research design. The research was conducted in March-April 2023 at State Senior High School 4 Yogyakarta. The sample used in this research was 61 students from grade 11 who were taken from two classes from 5 classes majoring in MIPA. The research sampling technique uses a cluster sampling technique. Derived from the word cluster which means natural grouping of people, this technique involves taking a random cluster sample from the population with all members from each cluster selected so that each cluster has the same probability of being selected [45]. Research data collection was carried out using test instruments in the form of descriptions with visual representation indicators including: (1) understanding of visual information; (2) processing information into cognitive structures; (3) externalization of information as a visual model [46]. The test instrument is used to measure the increase in students' visual representation abilities from the impact of using Flip-Book Optical Tools Based on Problem Based Learning Assisted by Virtual Laboratory Simulation. In the description test instrument, visual representation indicators have been validated by experts so that it is feasible to be used to measure visual representation abilities. The visual representation ability test instrument in this study has detailed question indicators which can be shown in appendix. Meanwhile, in research data analysis technique using inferential analysis to determine the impact of using flip-book, through the acquisition of students' pretest and posttest scores so that the N-Gain test equation can be determined as shown in eq. 1.

$$N - gain = \frac{\bar{X}_{PostTest} - \bar{X}_{PreTest}}{max.value - \bar{X}_{PreTest}} \quad (1)$$

The categorization of the N-Gain test scores was carried out with reference to the categories of Hake which are shown in Table 1.

Table 1. Categories of N-Gain Test Values ??

| N-Gain Value | Criteria |
|-----------------|----------|
| 0.00 < g < 0.30 | Low |
| 0.30 < g < 0.70 | Moderate |
| 0.70 < g < 1.00 | High |

Based on Table 1, the N-Gain value refers to the category of impact on visual representation ability from using Flip-books which consists of three categories including high, medium, and low. Before the N-Gain test was carried out, there

was an analysis of the prerequisite tests for normality and homogeneity using the SPSS 22.0 number processing software.

III. RESULTS AND DISCUSSION

III.1. Flip-Book of Problem Based Learning Optical Devices Assisted by Virtual Laboratory Simulation

In this study, testing the effectiveness of using Flip-books on optical instrument materials using the Problem Based Learning (PBL) learning model with the help of virtual lab simulations. The flip-book product in this study can be accessed using the link <https://heyzine.com/flip-book/7ba49ea339.html>. The flip-book design was designed using the Canva application to create attractive and innovative template designs. The flip-book is integrated through the heyzine flip-book in html form that is easy for students to access and creates a flip effect on physics flip-books so that students are not bored and are motivated in learning physics on optical instruments. This is also supported by research by Sunaryo & Qumillaila that the flip-book design using Canva has a media expert's assessment in the very proper category and can increase students' interest in learning and high order thinking skills, [48, 49]. Initial appearance of the cover from the optical instrument physics flip-book can be seen in Fig. 1.

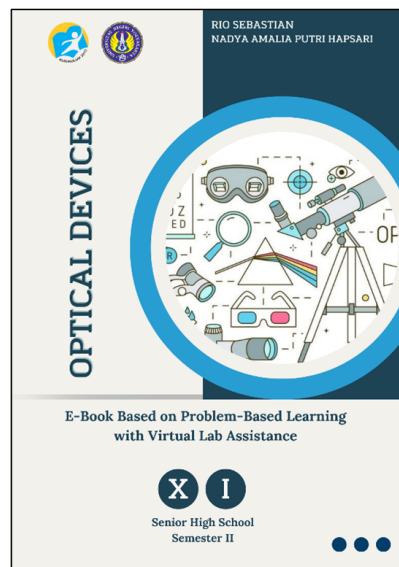


Figure 1. View of the Flip-Book cover.

Based on Fig. 1, shows the initial display menu on the Flip-book in the heyzine flip-book integration, where there are zoom, fullscreen and speaker icons as well as the book page turning icon. The zoom icon has functions to zoom in and zoom out, the fullscreen icon to enter full screen mode on our device and the speaker icon to make sound settings in the flip-book.

The optical device physics flip-book is embedded with a student appreciative video as a trigger for problems in the material to be studied because it is adapted to the syntax of

the Problem Based Learning model. The apperception video in the flip-book is also followed by questions that can be answered via the Google form link related to the problems in the video. Multimedia elements using videos in learning help students become interested in understanding the material so they are more active and concentrated in the learning process [50,51]. In previous studies, the use of flip-books with interactive videos, animation, and audio has legibility and validity criteria that are appropriate for use in learning which can create an interesting and active learning atmosphere [52]. The themes of the problem appreciation videos in the flip-book include eyes, glasses, cameras, lenses, microscopes, binoculars, and periscopes. One of the apperception video displays can be shown in Fig. 2.



Figure 2. Apperception and Question Video Display.

Based on Fig. 2, to start a video, you can click the start icon on the video and there is a menu icon and speaker icon. The menu icon is for making video settings such as fullscreen mode, speeding up or slowing down the video. Meanwhile, on the speaker icon to adjust the sound. In the column section of the question answer sheet, you can click on it which is directly connected to the Google form link to answer questions.

In the physics flip-book, optical devices to support practicum activities in learning are using a virtual lab simulation whose link is embedded in the flip-book so that it can be easily accessed by students via smartphone devices. The virtual lab simulation used is vascak.cz, a virtual laboratory originating from the Czech Republic which can be accessed in general, both for use from secondary to higher education in science [53]. The appearance of one of the virtual lab simulations in the flip-book can be shown in Fig. 3.

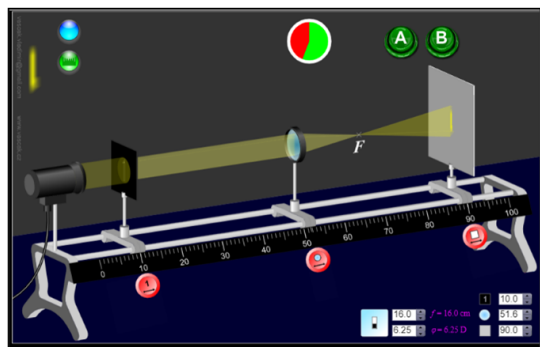


Figure 3. Display of a Virtual Laboratory Simulation in a Flip-book.

Based on Fig. 3, students can freely explore and manage

variables in a virtual laboratory simulation by utilizing the available icons. Through the virtual laboratory, students can carry out and experience virtual physics practicum so that students can easily and practically understand the concepts of optical devices. The use of virtual laboratories allows students to carry out experiments like facing real laboratory equipment so that it is more practical, efficiency, satisfaction, playfulness and affordable [54]. In addition, through virtual practicum, it makes it easy for students to build concepts and inquiry performance, because it can facilitate complex visualization [34]. The virtual laboratory simulations used in the flip-book include: eye accommodation, eye defects, negative glasses, positive glasses, bifocal glasses, loops, microscopes, Newtonian telescopes, Keplerian telescopes and Galerian telescopes. Virtual laboratory simulations are intended to support student learning in order to better understand the concept of optical instrument material contextually.

III.2. Prerequisite & N-Gain Test of Visual Representation Ability Assessment

The results of this study are in the form of measuring pretest and posttest scores using a description test instrument with visual representation indicators. The distribution of students' pretest and posttest data values can be shown using the scatter plot in Fig. 4.

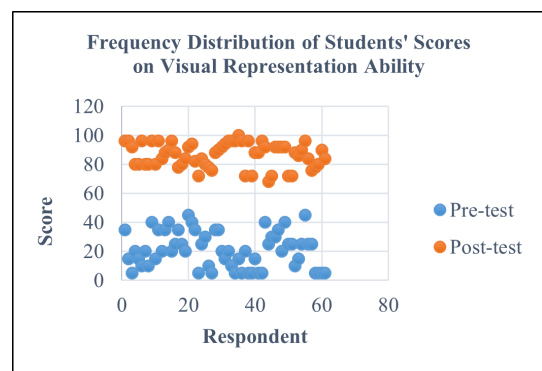


Figure 4. Distribution of Student Scores on the Pretest and Posttest.

Based on Fig. 4, it is shown that the pretest scores and posttest scores for each student experienced a significant increase. This is supported by the research of Abdjul that the use of virtual laboratory-assisted flip-books has a positive impact on student learning activities with a significant increase [33]. In the visual representation measurement data before being analyzed using the N-Gain value, prerequisite tests are first carried out which consist of normality and homogeneity tests. In the normality test, it functions to ensure that the data on student scores obtained is normally distributed through the Shapiro-Wilk test which states that the normal data requirements are sig. > 0.05 [55, 56]. The results of the normality test of the measurement data for the visual representation of each indicator can be shown in Table 2.

In Table 2, it shows that all 61 students' pretest and posttest scores for each visual representation indicator have a normal distribution because they have a significance value that exceeds 0.05 in the Shapiro-Wilk method. Meanwhile, in testing the homogeneity of the data, student scores were tested using the Levene's Test which was used to determine the similarity of the variants of the pretest and posttest data. In Levene's homogeneity test, data is considered homogeneous if the significance value is more than 0.05 (sig. > 0.05). The results of the analysis of the homogeneity of the data on student scores are shown in Table 3 which presents the Levene' test for each indicator of visual representation ability.

Table 2. Data Normality Test Results for Each Visual Representation Indicator

| Visual Representation Indicator | Shapiro-wilks | | | | N |
|--------------------------------------------------|---------------|-------|-----------|-------|----|
| | Pre-test | | Post-test | | |
| | Stat. | Sig. | Stat. | Sig. | |
| Understanding Visual Information | 0.983 | 0.557 | 0.985 | 0.649 | 61 |
| Process information into cognitive structures | 0.990 | 0.888 | 0.989 | 0.846 | |
| Externalization of information as a visual model | 0.977 | 0.297 | 0.980 | 0.398 | |

Table 3. Data Homogeneity Test Results for Each Visual Representation Indicator

| Visual Representation Indicator | Levene's Test | | N |
|--------------------------------------------------|---------------|-------|----|
| | Statistic | Sig. | |
| Understanding Visual Information | 1.581 | 0.211 | 61 |
| Process information into cognitive structures | 2.548 | 0.113 | |
| Externalization of information as a visual model | 2.376 | 0.126 | |

In Table 3 it can be seen that the significance value of the three visual representation indicator data has a value of more than 0.05 so that it can be stated that the pretest and posttest value data for measuring students' visual representation abilities are homogeneous. After the visual representation measurement values have been tested for normality and homogeneity, an analysis of the N-Gain value test data is performed to determine the level of effectiveness of the use of Problem-Based Learning Optical Equipment-Based Flip-Books Assisted by Virtual Laboratory Simulation in improving students' visual representation skills. The results of obtaining the N-Gain value from the visual representation measurement data can be shown in Table 4.

In Table 4, the visual representation of each indicator can be visualized in a graph to facilitate the interpretation of the results of the N-Gain score shown in Fig. 5.

Based on the interpretation of Table 4 and Fig. 5, it can be seen that the information externalization indicator as a visual model has the highest N-Gain score in the high

category, while the lowest N-Gain score is in the medium category indicator of processing information into cognitive structures. The indicator of information externalization as a visual model is an indicator of visual representation ability which is characterized by students being able to receive information stimulus in the form of pictures or diagrams and then being able to rewrite the visual model according to their own understanding in the form of pictures, verbal or diagrams. This is because the use of virtual laboratory simulations on flip-books can stimulate students to form concepts independently and contextually. Supported by the research of Arista & Kuswanto microscopic and macroscopic phenomena can be visualized through a virtual laboratory so students can clearly observe them [27]. This is also in line with the research of Gunawan that virtual laboratories can visualize physics concepts so that they are easy to understand [29]. In addition, integrating flip-books using graphics in the form of a virtual laboratory provides effectiveness in students' visual representation abilities [2].

Table 4. Results of N-Gain Values for Each Visual Representation Indicator

| Visual Representation Indicator | Pre-test Mean | Post-test mean | N-Gain Score | Criteria |
|--------------------------------------------------|---------------|----------------|--------------|----------|
| Understanding Visual Information | 30 | 84 | 0.773 | High |
| Process information into cognitive structures | 30 | 68 | 0.546 | Moderate |
| Externalization of information as a visual model | 28 | 91 | 0.882 | High |

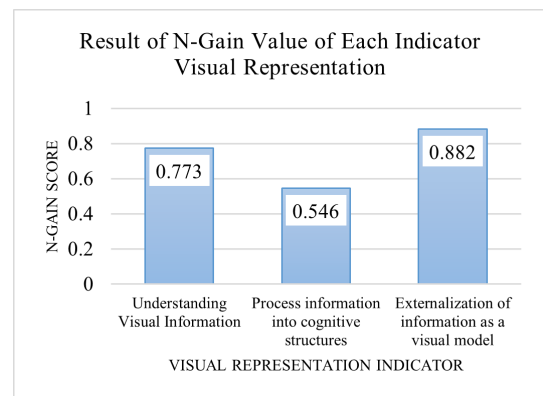


Figure 5. Result of N-Gain Value for Each Visual Representation Indicator.

In the indicator of processing information into cognitive structure, the N-Gain value is the lowest compared to other visual representation indicators where this indicator is marked in students being able to process information obtained from an image, diagram, or graph into an analysis and interpretation of problem solving. This is because in the presentation of flip-books assisted by virtual lab simulations,

it does not present enough practice questions and examples of various questions related to visual representation abilities, and emphasizes more on virtual laboratory simulation activities. Overall the N-Gain score indicators obtained in this study based on measurements through visual representation ability test instruments can be shown in Table 5.

Table 5. Results of the Overall N-Gain Value of the Visual Representation Ability Indicator

| Test Phase | Pre-test mean | Post-test Mean |
|------------|---------------|----------------|
| Mean | 21 | 86 |
| N | 61 | |
| N-Gain | 0.828 | |
| Category | High | |

Based on Table 5, it can be stated that the impact of using the Flip-Book on Optical Devices Based on Problem Based Learning Assisted by Virtual Laboratory Simulation in improving students' visual representation abilities is classified as in the high category, therefore the use of the flip-book is a recommendation as a physics learning medium applicable in a school environment. This is supported by previous research that the use of virtual laboratory-assisted flip-books can assist teachers in simulating and explaining abstract concepts that cannot be explained verbally so that students' visual representation abilities develop [33, 57]. In addition, learning using flip-books assisted by a virtual laboratory can help students' independent learning processes, learning motivation, conceptual understanding, and creative thinking [27, 58, 59]. Therefore, the use of problem-based learning-based flip-books assisted by virtual laboratory simulations can be a good and appropriate learning medium for use in physics learning, especially to improve visual representation skills.

IV. CONCLUSION

Based on the results of the study, the use of Flip-Book media for Problem-Based Learning with the Assistance of Virtual Laboratory Simulation has a positive impact on students' visual representation abilities with an N-Gain value of 0.828 which is included in the high category. Each indicator of visual representation ability appears in the use of a flip-book with the indicator having the highest N-Gain value on the information externalization indicator as a visual model with the high category and the lowest N-Gain value on the indicator processing information into cognitive structure with the medium category.

V. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their sincere gratitude to Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) for providing the opportunity to conduct this research. The support and resources provided by UNY have been invaluable in the successful completion of this study. The authors would also like to extend their heartfelt appreciation to the LPDP (Lembaga Pengelola Dana Pendidikan/ The Indonesia Endowment Funds for Education) for funding this research. The financial support from LPDP has greatly contributed to

the progress and accomplishment of this study. Furthermore, the authors would like to acknowledge the guidance and support received from their supervisors and colleagues throughout the research process. Their valuable insights and feedback have been instrumental in shaping the direction and quality of this study. Lastly, the authors would like to express their deepest gratitude to all the participants who willingly participated in this research. Their cooperation and involvement have been essential in gathering the necessary data for analysis.

REFERENCIAS

- [1] M. Evagorou, S. Erduran, and T. Mäntylä, *Int. J. STEM Educ.* **2**, 1 (2015).
- [2] B. Wei, C. Wang, and L. Tan, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **18**, 20138 (2022).
- [3] B. Mainali, *Int. J. Educ. Math. Sci. Technol.* **9**, 1 (2021).
- [4] L. Pauwels, *Soc. Semiot.* **33**, 426 (2023).
- [5] N. D. LaDue, J. C. Libarkin, and S. R. Thomas, *J. Sci. Educ. Technol.* **24**, 818 (2015).
- [6] B. Priemer et al., *Res. Sci. Technol. Educ.* **38**, 105 (2020).
- [7] H. Matovu et al., *Stud. Sci. Educ.* **59**, 205 (2023).
- [8] B. Eilam and J. K. Gilbert, *Science teachers' use of visual representations* (Springer International Publishing, New York, 2014).
- [9] L. E. Mnguni, *Springerplus* **3**, 1 (2014).
- [10] F. Y. Yang and H. Y. Wang, *Comput. Educ.* **193**, 104659 (2023).
- [11] S. Cai, C. Liu, T. Wang, E. Liu, and J. C. Liang, *Br. J. Educ. Technol.* **52**, 235 (2021).
- [12] E. İbili, M. Çat, D. Resnyansky, S. Şahin, and M. Billingham, *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol.* **51**, 224 (2020).
- [13] A. Widiyatmoko and K. Shimizu, *Int. J. Environ. Sci. Educ.* **13**, 853 (2018).
- [14] E. Aregehagn, A. Lykknes, D. A. Getahun, and M. I. M. Febri, *Educ. Sci.* **13**, 445 (2023).
- [15] H. -S. Wang, S. Chen, and M.-H. Yen, *Am. J. Phys.* **86**, 777 (2018).
- [16] L. Xu, V. Prain, and C. Speldewinde, *Int. J. Sci. Educ.* **43**, 844 (2021).
- [17] E. Özdemir, M. Coramik, and H. Ürek, *Int. J. Educ. Math. Sci. Technol.* **8**, 53 (2020).
- [18] S. Gumilar and A. Ismail, *Res. Sci. Technol. Educ.* **41**, 614 (2023).
- [19] D. Maynastiti, V. Serevina, and I. Sugihartono, *J. Phys. Conf. Ser.* **1481**, 012076 (2020).
- [20] E. Mnkandla and A. Minnaar, *Int. Rev. Res. Open Distance Learn.* **18**, 227 (2017).
- [21] Y. Asri and Y. Fitriani, *AIP Conf. Proc.* **1867**, 2017.
- [22] A. Mardikaningsih and P. Kurniasari, *Taman Vokasi* **6**, 215 (2018).
- [23] P. W. A. Suyasa, D. G. H. Divayana, and M. R. Kristiantari, *J. Phys. Conf. Ser.* **1810**, (2021).
- [24] N. H. Aswanti and W. Isnaeni, *Res. Eval. Educ.* **9**, 37 (2023).

- [25] S. M. Reeves and K. J. Crippen, *J. Sci. Educ. Technol.* **30**, 16 (2021).
- [26] T. Hardianti, and S. Fitriana, *Int. J. Instr.* **15**, 101 (2022).
- [27] F. S. Arista and H. Kuswanto, *Int. J. Instr.* **11**, 1 (2018).
- [28] W. Tarng, C. L. Liu, C. Y. Lee, C. M. Lin, and Y. C. Lu, *Comput. Appl. Eng. Educ.* **27**, 472 (2019).
- [29] G. Gunawan, N. Nisrina, N. M. Y. Suranti, L. Herayanti, and R. Rahmatiah, *J. Phys. Conf. Ser.* **1108** (2018).
- [30] R. Taibu, L. Mataka, and V. Shekoyan, *Int. J. Educ. Math. Sci. Technol.* **9**, 353 (2021).
- [31] M. Masril, H. Hidayati, and Y. Darvina, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **335**, 012069 (2018).
- [32] K. A. A. Gamage, D. I. Wijesuriya, S. Y. Ekanayake, A. E. W. Rennie, C. G. Lambert, and N. Gunawardhana, *Educ. Sci.* **10**, 1 (2020).
- [33] T. Abdjul, N. E. Ntobuo, and C. Payu, *J. Pendidik. Fis. Indones.* **15**, 97 (2019).
- [34] S. J. Husnaini and S. Chen, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **15**, 10119 (2019).
- [35] J. A. A. do Amaral and F. Fregni, *Int. J. Instr.* **14**, 1 (2021).
- [36] R. Ramadhani, R. Umam, A. Abdurrahman, and M. Syazali, *J. Educ. Gift. Young Sci.* **7**, 137 (2019).
- [37] H. Tadjer, Y. Lafifi, H. Seridi-Bouchelaghem, and S. Gülseçen, *Interact. Learn. Environ.* **30**, 1879 (2022).
- [38] R. Capone, P. De Caterina, and G. A. G. Mazza, Blended learning, flipped classroom and virtual environment: challenges and opportunities for the 21st century students, EDULEARN17 Conference, 2017.
- [39] R. Widyatingtyas, Y. S. Kusumah, U. Sumarmo, and J. Sabandar, *J. Math. Educ.* **6**, 30 (2015).
- [40] P. Panwong and K. Kemavuthanon, *Wirel. Pers. Commun.* **76**, 603 (2014).
- [41] W. Y. Silviariza, Sumarmi, and B. Handoyo, *Int. J. Instr.* **14**, 133 (2021).
- [42] S. Tanjung, Baharuddin, D. Ampera, Farihah, and I. Jahidin, *Int. J. Educ. Math. Sci. Technol.* **10**, 740 (2022).
- [43] M. Fidan and M. Tuncel, *Comput. Educ.* **142**, 103635 (2019).
- [44] B. K. Prahani, H. V. Saphira, F. C. Wibowo, Misbah, and N. F. Sulaeman, *J. Turkish Sci. Educ.* **19**, 1096 (2022).
- [45] P. Sedgwick, *BMJ* **348**, 1 (2014).
- [46] R. E. Mayer, *Multimedia Learning* (Cambridge University Press, New York, 2009).
- [47] R. R. Hake, *Am. J. Phys.* **66**, 64 (1998).
- [48] S. Sunaryo, A. Kushermawati, and M. Delina, *Int. J. Innov. Creat. Chang.* **11**, 444 (2020).
- [49] Qumillaila, A. P. Lestari, Y. Kuboki, and F. Hasim, Developing an E-Flipbook on Environmental Education to Promote Digital Literacy among Elementary School Students and Teachers in Rural Areas in Indonesia, 2022 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), 2022.
- [50] A. N. S. I. Septiani, T. Rejekiningsih, Triyanto, and Rusnaini, *Eur. J. Educ. Res.* **9**, 1267 (2020).
- [51] M. Hanif, *Int. J. Instr.* **13**, 247 (2020).
- [52] Setiyani, S. B. Waluya, Y. L. Sukestiyarno, and A. N. Cahyono, *Int. J. Interact. Mob. Technol.* **16**, 116 (2022).
- [53] H. Roziboyevich, "The use of information technology in teaching exact and natural sciences, *Eurasian Sci. Her.* **14**, 72 (2022).
- [54] R. Estriegana, J. A. Medina-Merodio, and R. Barchino, *Comput. Educ.* **135**, 1 (2019).
- [55] E. González-Estrada and W. Cosmes, *J. Stat. Comput. Simul.* **89**, 3258 (2019).
- [56] Q. Iqbal, *Glob. Bus. Rev.* **21**, 377 (2020).
- [57] S. Hurtado-Bermúdez and A. Romero-Abrio, *Interact. Learn. Environ.* **31**, 1126 (2023).
- [58] I. Ladamay, F. N. Kumala, R. H. Susanti, N. Ulfatin, B. B. Wiyono, and S. Rahayu, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **1098**, 032028 (2021).
- [59] R. Oktarina, A. -, M. G. -, F. -, M. Muskhir, and H. Effendi, *J. Educ. Technol.* **5**, 159 (2021).

Table 6. Indicators of test instruments in measuring visual representation abilities

| Visual Representation Indicator | Number Item | Test instrument indicator |
|--------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Understanding Visual Information | 2 | Presented a diagram of rays in the eye by people with eye defects. Students can identify eye defects and the correct glasses to use based on the diagram. |
| | 3 | Presented a diagram of rays in the eye by people with eye defects. Students can determine the right glasses for people with eye defects based on the case diagram. |
| | 7 | Presented an image of camera parts along with the path of light in capturing images, students can abstract the function of camera parts such as the function of parts of the eye. |
| Process information into cognitive structures | 4 | Presented is a diagram of a convex lens in forming rays and shadow. Students can determine the distance of a shadow in this case if they know the focus and distance of the image. |
| | 5 | Presented a graph of the relationship between the distance of the object and the distance of the image in magnifying glass lens. Students can determine the lens focus value based on the graph. |
| Externalization of information as a visual model | 1 | Presented an image of the anatomy of the eye. Students can describe the process of light traveling through the eye to form an image. |
| | 6 | Presented a case narrative of the use of magnifying glasses in everyday life. Students describe a diagram of the rays and shadows produced by a magnifying glass when it is shifted a certain distance. |

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 MÉTODO CIENTÍFICO, LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y SU ENTRENAMIENTO EN LAS CARRERAS DE INGENIERÍA

THE SCIENTIFIC METHOD, PROBLEM RESOLUTION AND ITS TRAINING IN ENGINEERING CAREERS

F. REPILADO[†], M. FERNÁNDEZ, B. REY^{*} Y L. AMAYA

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Oriente, Cuba; frepila@uo.edu.cu[†].

[†] autor para la correspondencia

Recibido 30/10/2023; Aceptado 5/11/2023

Se sugiere una variante metodológica para desarrollar las clases de resolución de problemas de Física General en las carreras de ingeniería. Su idea básica es favorecer la comprensión y aplicación de la lógica del método científico desde la perspectiva del enfoque de G. Pólya para enfrentar y resolver esos problemas. A manera de ejemplo ilustrativo se muestra un problema de Mecánica resuelto a partir de esos criterios.

A methodological variant is suggested to develop General Physics problem solving classes in engineering careers. Its basic idea is to favor the understanding and application of the logic of the scientific method from the perspective of the G. Pólya approach to face and solve those problems. As an illustrative example, a Mechanics problem is solved using this criteria.

PACS: Physics education (educación en física), 01.40.-d.; teaching methods (métodos de enseñanza), 01.40.gb; Earth (Tierra), 91.10.Jf; Moon (Luna), 96.20.Dt.

I. INTRODUCTION

A pesar de los ingentes esfuerzos por perfeccionar el proceso de enseñanza – aprendizaje (PEA) en la resolución de problemas de Física General en las carreras de Ingeniería en Cuba, aún persisten insuficiencias y falencias en la formación que dificultan superar el paradigma de la enseñanza “tradicional”. Éste se caracteriza por: (a) el profesor es el único agente generador de cultura, (b) la lógica de apropiación y aplicación del método científico tiene una presencia muy pálida o está ausente y (c) para el estudiante, resolver un problema de Física General es aplicar las fórmulas que su profesor le “enseña”.

M. Majmutov [1] plantea que el enfoque tradicional de enseñanza (a) no garantiza los intereses ni la independencia cognoscitiva del estudiante (b) no supera la gran dosis de dogmatismo que transmiten sus métodos didácticos y (c) no desarrolla en los estudiantes ideas creativas ni su formación en modelos, relaciones efectivas y afectivas e investigación entre la Física General y los problemas profesionales de las carreras.

Un enfoque más realista y desarrollador debería centrarse más en la preeminencia en el pensamiento y modo de actuación de los estudiantes de los rasgos más importantes de la lógica de apropiación y aplicación del método científico para enfrentar y solucionar disímiles situaciones y problemas ingenieriles.

Las clases prácticas de Mecánica en la Física I en las carreras de ingeniería, son terreno fértil para consolidar conocimientos, habilidades, métodos, procedimientos, etc. Por eso deben concebirse, organizarse y conducirse adecuadamente utilizando métodos productivos, donde predominen la intencionalidad, eficiencia y calidad del proceso, direccionadas a formar un profesional que no se

limite exclusivamente a acumular y aplicar “mecánicamente” el contenido aprendido en las aulas universitarias, sino, a que imagine, especule, teorice, razone e innove.

A pesar de existir innegables aportes del aprendizaje significativo y del pensamiento crítico [1–4], aún es posible perfeccionar más el PEA de la Física General Universitaria sistematizando la lógica de apropiación y aplicación del método científico en armonía con algunos enfoques modernos en la resolución de problemas.

La comprensión y aplicación coherente y consecuente de la lógica del método científico es el eje central en la resolución de problemas y debe entenderse como un gestor de conocimiento científico que usa en su base la medición y el criterio empírico así como, el sometimiento a las pruebas del razonamiento: una serie ordenada de procedimientos lógicos empleados para descubrir las relaciones internas y externas de los fenómenos y procesos. El método científico parece constituirse en la manera más segura y expedita de alcanzar la verdad. Algunas de las etapas trascendentes del método científico se reflejan en su lógica (a) Comienza por la observación activa (b) Construye un modelo interpretativo preliminar de los hechos observado y (c) Corrige –en un proceso recurrente– el modelo preliminar considerando las nuevas observaciones.

Como se ha dicho, persisten importantes falencias en la formación, localizadas, sobre todo, en el dominio de la lógica de apropiación y aplicación” del método científico para resolver problemas. Su aplicación –cuando se realiza– es fragmentada y asistemática e incide desfavorablemente en la formación de habilidades y hábitos en el pensamiento y modo de actuación de los estudiantes.

La mayoría de las publicaciones sobre el método científico consideran, en general, que el mismo se estructura sobre

ocho etapas: Observación, Inducción o preguntas, Hipótesis, Predicción, Experimentación, Antítesis o refutación, Tesis o teoría, Análisis y conclusión. Los autores reconocen la importancia y necesidad de ejecutar todas las etapas, pero resaltan aquellas que introducen elementos novedosos a la comprensión que habitualmente se tiene de las mismas.

OBSERVACIÓN: se concreta por la comprensión de: (a) los fenómenos presentes en los textos de los problemas (b) los datos e incógnita y (c) la descripción de la concepción y métodos de un experimento vinculado con el problema y sus resultados.

INDUCCIÓN O PREGUNTAS: Proceso de “afinamiento progresivo” de preguntas esenciales, donde se contrasta lo común y diferente del problema nuevo con problemas enfrentados y resueltos con anterioridad.

EXPERIMENTACIÓN: se intenta comprobar la hipótesis seleccionada mediante la reproducción del fenómeno en un ambiente controlado. En las clases de resolución de problemas de los llamados de “lápiz y papel” [5] se considera “experimentación” a la aplicación de la “ecuación de trabajo”, en otros contextos, reales o ideales, para comparar el resultado obtenido con aquellos valores que aparecen en tablas reconocidas.

ANTÍTESIS O REFUTACIÓN: se intenta refutar la hipótesis con ayuda de un contraejemplo experimental. Sirve como contraejemplo aplicar la hipótesis en una región nueva de fenómenos donde se valora su posible funcionamiento.

TESIS O TEORÍA: si no se logra refutar la hipótesis, ésta se transformará paulatinamente en regularidad, ley o teoría. Si se refuta, entonces, hay que mejorarla y comenzar de nuevo.

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES: buscando incongruencias o contradicciones se efectúa un detallado análisis de la investigación realizada y sus resultados. Si éste es negativo, se presentan las conclusiones y los aspectos alcanzados como nuevo conocimiento científico.

Un criterio o enfoque docente de resolución de problemas cercano a la investigación científica y su método, lo ofreció G. Pólya.

G. Pólya (1887 -1985), en su libro “How to solve it” (“Como plantear y resolver problemas”) [6] asume que resolver un problema implica vencer las siguientes etapas (a) Comprender el problema, (b) Concebir un plan, (c) Ejecutar el plan y (d) Examinar la solución obtenida.

Lo que Pólya propone es básicamente un proceso de modelización, que, según Caselles, ... “es una ayuda al descubrimiento, a la creatividad, al diseño o la construcción de sistemas reales” [7] y ... “es esencialmente cíclico, es decir, que vuelve atrás para corregir resultados de etapas anteriores como consecuencia de etapas posteriores que conllevan contrastes con la realidad” [7]. Éste comienza con la comprensión multilateral del problema y culmina con el examen exhaustivo de la solución alcanzada.

En esencia, concebir, organizar y conducir el PEA con esos presupuestos brinda entrenamiento efectivo a los estudiantes

en el método científico para la resolución de problemas con ayuda de la teoría de los modelos mentales de Johnson – Laird [8] y el diálogo socrático, reconociendo que, con ello, se revelan las representaciones y modelos mentales de los estudiantes y sus falencias y errores en aquello que creían conocer muy bien, permitiendo su corrección [9].

G. Bachelard apuntaba: “Siempre me sorprendió el hecho de que los profesores de ciencias, más que los otros, no comprenden que no se pueda comprender. Pocos son aquellos que profundizan la psicología del error” [10].

El presente trabajo aborda la solución de un problema de Mecánica sobre el movimiento planetario y constituye el primero de una trilogía referida a la aplicación del método científico, inserto en el enfoque de Pólya, para la resolución de problemas de Mecánica, Electroestática y Teoría de Bohr del átomo de Hidrógeno.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

1. Programas de Física General
2. Textos de Física más usados
3. Análisis de la bibliografía científico – metodológica y filosófica sobre el método científico, los enfoques didácticos para la resolución de problemas, la construcción de modelos, etc.
4. Análisis de las deficiencias y falencias de los estudiantes en el aprendizaje

Los métodos empleados fueron:

5. Entrevistas a estudiantes y profesores
6. Controles a clases
7. Tribunales de examen oral
8. Experiencia docente de los autores en la concepción y desenvolvimiento del PEA de la Física

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ejemplo ilustrativo de aplicación del método científico en la solución de un problema de Mecánica usando el enfoque de Pólya.

El objetivo de la resolución de este problema es mostrar las aristas básicas en el empleo del método científico en el marco del enfoque de Pólya de resolución de problemas, pero sin pretender constituirse en patrón para desarrollar la clase. El modo de desenvolverla queda a voluntad y propósito de los docentes. La propuesta apenas sugiere algunos aspectos que pudieran tratarse por el profesor en elaboración conjunta con los estudiantes, inicialmente de manera literal para incentivar su pensamiento científico, y posteriormente con valores numéricos como parte de la “experimentación”, apoyándose en preguntas “socráticas”.

EL PROBLEMA “Un planeta gira en torno a una estrella. Hallar el período T_p de su rotación”.

Este problema posee un carácter general (tipo problema abierto), requiriendo una modelización adecuada que permita su concreción. Las ideas esenciales que la soportan son dos:

a) Con el modelo primario como referente, despreciar aquello que resulte superfluo o secundario en el contexto de modelación de condiciones físicas básicas para alcanzar la solución más esencial, sencilla o “pura” posible.

b) Reincorporar paulatinamente y por etapas - siempre que sea posible y no se altere la aplicabilidad y comprensión del modelo - aquello que con anterioridad no fue considerado, con el propósito de que, al final, se logre una solución lo más próxima posible a la realidad. Un ejemplo sería el sistema cuerpo resorte, limitado primero a sus oscilaciones libres, incluyendo luego la fricción viscosa lineal y posteriormente una fuerza externa sinusoidal.

Es trascendente cuidar que la situación física presentada se perciba como un problema a resolver teniendo al modelo físico como guía.

IV. ETAPAS DE LA MODELIZACIÓN

Entender el problema

Una cuestión de interés es el uso inadecuado que se hace del aseguramiento del nivel de partida de la clase, reduciéndolo a un insustancial y extenso «recordatorio» de las fórmulas y los conceptos físicos a emplear; cuestión ésta, con la que no se coincide.

Desde la perspectiva de los autores esa opción exhibe como principales desventajas: (a) “contaminar” el pensamiento y modo de actuar de los estudiantes en la medida que inducen una manera única y ajena de utilizarlos, y (b) “desviar el foco de atención” del escaso tiempo disponible que debiera emplearse en la interpretación exhaustiva de la situación física presente en el problema, las condiciones físicas concretas involucradas, la selección de modelos físicos y su pertinencia; así como las probables vías de solución del mismo.

Tal vez sea interesante comenzar la actividad a partir de las siguientes preguntas:

- ¿Cómo Usted comprendió el problema?
- ¿Cómo Usted considera que se mueve el planeta y qué lo provoca?
- ¿Cómo enfrentaría la solución del problema?

IV.1. Observación

Se centrará en los datos y la incógnita, el estado y las condiciones; la interpretación o construcción de figuras, esquemas o gráficos y posible funcionamiento del proceso o fenómeno presente en el problema.

Extracción de datos

¿Cuáles son los datos explícitos del problema?

Se trata de un planeta, o sea, “cuerpo celeste opaco que solo brilla por la luz reflejada del sol, alrededor del cual describe su órbita más o menos circular o elíptica con un movimiento propio o periódico propio y periódico” [11].

Otras posibles magnitudes importantes implicadas, aunque no declaradas, son:

m_p - masa del planeta.

M_e - masa de la estrella

R_o - radio de la órbita

G - Constante de gravitación universal

¿Cuál es la incógnita?

Período de rotación del planeta en torno a la estrella

IV.2. Suposiciones preliminares

Mediante la discusión y búsqueda de contradicciones, se puede llevar al estudiante a las siguientes suposiciones:

i. Ya que el planeta gira en torno a la estrella, constituye un sistema planetario. La estrella es el cuerpo central y el planeta, el satélite; además, $M_e \gg m_p$, luego, la estrella estaría en reposo durante la interacción mutua con el planeta

ii. En realidad, los planetas se mueven según órbitas elípticas (la estrella está situada en uno de sus focos y la excentricidad $\epsilon < 1$), sin embargo, en la “práctica” ellas son circulares y $\epsilon \cong 0$ y radio $R_o =$ constante

iii. Se considera que actúa únicamente la fuerza gravitacional entre la estrella y el planeta, ignorando cualquier otra interacción, por ejemplo, con algún satélite del planeta

iv. La velocidad tangencial $v_t =$ constante en todos los puntos de la órbita, por tanto, la aceleración tangencial será nula y aproximadamente el movimiento será circular uniforme.

Concebir un plan I. Inducción o preguntas

En el desarrollo de esta parte del problema podrían formularse, entre otras, las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son las características esenciales del sistema físico supuesto?
- ¿Tendrá aceleración ese sistema?
- ¿Cuáles fenómenos o procesos están presentes?
- ¿Cuáles son las características básicas del movimiento circular uniforme?
- ¿Cómo Usted representaría en un esquema ese sistema físico?

Como norma, los planetas giran alrededor de un eje “fijo” en la estrella, pero también lo hacen respecto a un eje “fijo” en el propio planeta.

Si el planeta gira según una órbita circular: ¿Por qué no “escapa” tangencialmente de la órbita ni cae sobre la estrella?

Si por un instante se admitiera la idea de que existe un planeta estático, efectivamente, éste debería “caer” sobre la estrella debido a la interacción gravitatoria entre ambos. Si, por el

contrario, “no existiera” interacción gravitatoria, entonces, el planeta saldría expelido tangencialmente de la órbita. Sin embargo, el planeta gira y existe interacción gravitatoria con la estrella. Luego, ¿Qué es lo que sucede realmente?

Para poder explicar lo que sucede, es necesario consignar las características del movimiento circular.

¿Habrá aceleración \vec{a}_c en el movimiento circular?

Existe una componente de la aceleración, llamada *tangencial*, que es la componente tangencial de la derivada respecto al tiempo del módulo de la velocidad de la partícula igual a:

$$a_t = \frac{d|\vec{v}|}{dt} \quad (1)$$

y otra componente de la aceleración, llamada normal o *centrípeta*, dirigida hacia el centro del sistema e igual a:

$$|\vec{a}_c| = \frac{v^2}{R_0} \quad (2)$$

entonces, la aceleración para el movimiento circular será:

$$\vec{a}_c = a_t \vec{t} + a_n \vec{n} \quad (3)$$

donde \vec{t} y \vec{n} son los vectores unitarios tangenciales y normales a la trayectoria, respectivamente.

¿Habrá aceleración \vec{a}_c en el movimiento circular uniforme?

Para el movimiento circular uniforme:

$$a_t = 0 \quad (4)$$

y

$$a_n \neq 0 \quad (5)$$

luego

$$|\vec{a}_c| = a_n = \frac{v^2}{R_0} \quad (6)$$

Tarea: Investigue:

1. ¿Son posibles las situaciones físicas para el movimiento del planeta que se muestran abajo?

2. ¿Cuál “sería” el movimiento del planeta en cada una de ellas?

$$a_t \neq 0 \text{ y } a_n = 0$$

$$a_t \neq 0 \text{ y } a_n \neq 0$$

$$a_t = 0 \text{ y } a_n = 0$$

Justifique sus respuestas en base a las leyes correspondientes y ponga ejemplos que refuten o reafirmen la posibilidad de ocurrencia de estos casos.

El análisis exhaustivo de estas condiciones permitiría no sólo comprender mejor el significado de la aceleración en el movimiento, sino, además, clasificar los diferentes tipos de movimientos a partir del comportamiento de ese concepto.

Si apenas se prestara atención a la velocidad tangencial, en efecto, el planeta debería abandonar tangencialmente la órbita. Sin embargo, la presencia de la aceleración normal (centrípeta) hacen que la trayectoria del planeta se “rectifique” a cada instante; por eso, el planeta no abandona la órbita ni cae en la estrella. En esencia, la fuerza de interacción gravitatoria “se comporta” como la fuerza centrípeta. En resumen, en el movimiento circular uniforme el planeta se mueve con velocidad constante por una órbita circular y tendrá una aceleración normal dirigida al centro de la órbita.

En particular, el movimiento circular de los cuerpos celestes es similar al movimiento circular de una piedra que gira sujeta a una cuerda.

En función de lo expresado: ¿Qué plan concibe para resolver el problema?

¿Qué modelo físico – matemático emplearía en el problema que cumpla con las exigencias expuestas?

V. MODELO FÍSICO - MATEMÁTICO

1. En un sistema planetario, en torno a una estrella gira el planeta según determinada órbita
2. La fuerza que se manifiesta en ese sistema es la fuerza de interacción gravitatoria que se comporta como la fuerza centrípeta
3. La fuerza neta que obra sobre el planeta se expresa como:

$$|\sum \vec{F}_n| = m_p a_n = m_p \frac{v^2}{R_0} \quad (7)$$

¿Cuál será la fuerza neta?

VI. HIPÓTESIS

Si

$$\sum F_n = G \frac{m_p M_e}{R_0^2} \quad (8)$$

o sea,

$$G \frac{m_p M_e}{R_0^2} = m_p \frac{v^2}{R_0} \quad (9)$$

y, teniendo en cuenta que la velocidad lineal es:

$$v = \omega R_0 \quad (10)$$

Y la velocidad angular es:

$$\omega = \frac{2\pi}{T_p} \quad (11)$$

entonces, es posible calcular el período de rotación del planeta en torno a la estrella, T_p .

En función de lo expresado: *¿Qué plan concibe para resolver el problema?*

El plan podría ser:

Despejar v^2 de (9), o sea

$$v^2 = \frac{GM_e}{R_o} \quad (12)$$

y considerando, (10) y (11), entonces:

$$(\omega R_{oi})^2 = \frac{4\pi^2}{T_p^2} R_o^2 \quad (13)$$

$$T_p^2 = \frac{4\pi^2 R_o^3}{GM_e} \quad (14)$$

La ecuación (14) es la conocida tercera ley de Kepler, la cual afirma que ... "Los cuadrados de los períodos de revolución de los planetas alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de las distancias medias de los planetas al Sol (sistema planetario)" [12]

Finalmente, queda:

$$T_p = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_o^3}{GM_e}} \quad (15)$$

Análisis dimensional

$$[T_p] = \left[\sqrt{\frac{L^3}{\frac{MLL^2}{T^2 M^2}}} \right] = \left[\sqrt{T_t^2} \right] = T_t \quad (16)$$

Lo que implica que $s = s$ y la expresión (15) es correcta dimensionalmente.

PREDICCIONES:

Posibles predicciones a considerar por sus implicaciones:

- De (15) se aprecia que T_p no depende de la masa del planeta, sino de la masa de la estrella y del radio de la órbita, es decir, si hipotéticamente en lugar del planeta se pusiera - en la misma órbita y con $m_c \ll M_e$ - otro cuerpo celeste similar, su período de rotación sería el mismo
- Para órbitas muy alejadas de la estrella ($\frac{R}{R_o} \gg 1$). As, de (15) se observa que T_p será muy grande y de (12) la velocidad más pequeña y viceversa
- De (12), como $GM_e = \text{constante}$, para un planeta dado, v es función de R_o , pues éste último determina a la rapidez

VII. EXPERIMENTACIÓN

La experimentación se concibe concretando la "ecuación de trabajo" (15) con valores numéricos del sistema Sol -Tierra y comparando el resultado obtenido con el valor que aparece en los datos de tablas reconocidas internacionalmente.

VIII. EJECUTAR EL PLAN

(12) El sistema planetario Sol (estrella) – Tierra (planeta) tiene como datos significativos:

M_e masa del Sol = $1.99 \cdot 10^{30}$ kg

$R_o = 150 \cdot 10^6$ km = $1.50 \cdot 10^{11}$ m

$G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ ($N \cdot m^2$)/(kg)²

De la ecuación (15) se obtiene:

$$T_p = \sqrt{\frac{4 \cdot (3.14)^2 (1.50 \cdot 10^{11})^3}{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 1.99 \cdot 10^{30}}} = 3.16 \cdot 10^7 \text{s} \quad (17)$$

ANTÍTESIS O REFUTACIÓN

La hipótesis es válida para el sistema Tierra – Sol. *¿Será también válida para el sistema Luna - Tierra?*

Para comprobarlo, basta hallar T_L según la propia ecuación (15) pero con los datos correspondientes al nuevo sistema y compararlo con el valor numérico que ofrecen las tablas astronómicas.

TESIS O TEORÍA

Una vez confirmada la hipótesis, es lícito inferir que las leyes de la Mecánica empleadas son aplicables no sólo a las relaciones Tierra – Sol y Tierra - Luna, sino a cualquier planeta del Sistema Solar y, probablemente, a otros sistemas con similares configuraciones.

ANÁLISIS DEL RESULTADO

La coincidencia de los valores calculados según la ecuación (15) con los de las tablas astronómicas – en el orden de las centésimas de por ciento - es un resultado remarcable. No obstante, en la docencia esto no se puede reducir apenas a la coincidencia numérica: hay que profundizar en las posibles consecuencias que se deriven de la confrontación modelo físico – matemático vs. hipótesis seleccionados:

Hipótesis 1) *Se supuso que solamente actúa la fuerza gravitacional entre la estrella y el planeta y se ignoraron las fuerzas gravitacionales de otros cuerpos celestes.* Esta simplificación, al parecer, es algo excesiva ya que se están ignorando las perturbaciones de Marte, Venus, Júpiter, etc. *¿Se ha forzado la modelización para obtener resultados coincidentes? De ninguna manera. La modelización efectuada es bastante próxima a la realidad y la pequeña diferencia obtenida se justifica porque los valores despreciados son en realidad pequeños. Sería interesante calcular la influencia de la Luna y Júpiter sobre el período de rotación de la Tierra.*

Hipótesis 2) *La modelación, al pasar de órbitas elípticas (Sol en uno de los focos y excentricidad $\epsilon < 1$) a circulares (excentricidad nula*

y $R_o = \text{const.}$ en todos los puntos de la órbita) da la impresión que introduce una contradicción.

Esa supuesta contradicción es superable pues, para la órbita circular, el Sol se encontraría en el centro de dicha órbita de radio constante, cuyo diámetro sería aproximadamente igual al eje mayor de la elipse. De ahí que la diferencia en el comportamiento del sistema sería mínima.

Hipótesis 3) El movimiento del planeta se asume como circular uniforme, por tanto, su velocidad tangencial $v_t = \text{const.}$ en la órbita.

Si $v_t \neq \text{const.}$, entonces, la aceleración normal sería diferente en cada punto, pero una velocidad constante en la órbita, supone un movimiento circular uniforme.

IX. CONCLUSIONES

La apropiación y aplicación de la lógica del método científico en las clases de resolución de problemas se erige como una de las vías más fértiles y expeditas para la formación y desarrollo del modo de pensar y actuar del ingeniero, por lo que debe sistematizarse significativamente.

El dominio de la lógica del método científico constituye un método efectivo no sólo para desempeño de los estudiantes en la disciplina Física General, sino, además, trasciende esa moldura para realizar el trabajo de Diploma, participar en tareas de investigación científica, e incluso, en su futura ejecutoria laboral.

El enfoque de G. Pólya para las clases de resolución de problemas de Física en las carreras de Ingeniería es una de las mejores herramientas para concebir, organizar y conducir la formación de habilidades para enfrentarlos y resolverlos. La teoría de los modelos mentales de Johnson – Laird, en estrecha comunión con la aplicación sistemática del diálogo socrático,

constituyen dos de los recursos didácticos más eficientes para consolidar la apropiación y aplicación de la lógica del método científico en la docencia.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y los compañeros del Departamento de Física Aplicada de la U. Oriente por su apoyo y comprensión.

REFERENCIAS

- [1] M. Majmutov, *La enseñanza problémica* (Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1983).
- [2] J. Piaget y otros, *Epistemología genética y equilibración* (Editorial Fundamentos, Madrid, España, 1980).
- [3] D. Ausubel, *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo* (Trillas, México, 1976).
- [4] A. Fisher, *Critical Thinking. An introduction* (University Press, Cambridge, 2001).
- [5] D. Gil, y otros, *Enseñanza de la Ciencia* **17**, 2 (1999).
- [6] G. Pólya, *¿Cómo plantear y resolver problemas?* (Editorial Trillas, México, 1965).
- [7] A. Caselles, *Modelización y simulación de sistemas complejos* (Universitat de València, España, 2008).
- [8] P. Johnson-Laird, *Mental models*, (Harvard University Press, Cambridge, 1983).
- [9] M. Fernández, F. Repilado, y Z. Pérez, *Rev. Cub. Fis.* **33**, 1 (2016).
- [10] G. Bachelard, *O racionalismo aplicado* (Editorial Zahar, Río de Janeiro, Brasil, 1977).
- [11] Real Academia Española, *Diccionario de la lengua castellana* (Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, España, 2014).
- [12] B. M. Yavorski, y otros, *Fundamentos de Física* (Editorial MIR, Moscú, 1983).

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.



A NEW 50 cm TELESCOPE FOR THE RUSSIAN-CUBAN OPTICAL TELESCOPE NETWORK

UN NUEVO TELESCOPIO DE 50 cm PARA LA RED DE TELESCOPIOS RUSO-CUBANA

M. A. IBRAHIMOV^{a†}, M. R. RODRÍGUEZ^b, Z. B. BÁRCENAS-FONSECA^c, M. A. NALIVKIN^a, S. A. NAROENKOV^a, A. S. SHUGAROV^a, A. ALONSO-DIAZ^c, O. PONCE-RODRÍGUEZ^c, AND F. GONZÁLEZ-VEITÍA^c

a) Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; mansur@inasan.ru[†]

b) Agencia de Medio Ambiente, CITMA, Havana, Cuba

c) Institute of Geophysics and Astronomy, Havana, Cuba; alonso@iga.cu

† corresponding author

Recibido 30/10/2022; Aceptado 20/11/2023

Since 2017, the Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences (Russia) and the Institute of Geophysics and Astronomy (Cuba) have been implementing a joint international project with the aim of building a distributed global optical telescope network. The first 20 cm robotic telescope of this network has been operated since 2021 in Havana. The construction of the second 50 cm telescope has been underway since 2023 and it is expected to be finished and installed in 2025 near Kislovodsk (Russia). According to the current plan, a third 1 m telescope will be installed in 2030 at Valle de Picadura (Cuba). In the present contribution, the main parameters and scientific equipment of the 50 cm telescope are described and its role in the Russian-Cuban distributed global telescope network is discussed.

Desde 2017, el Instituto de Astronomía de la Academia de Ciencias Rusa (Rusia) y el Instituto de Geofísica y Astronomía (Cuba) han estado implementando un proyecto internacional conjunto con el objetivo de construir una red global de telescopios ópticos. El primer telescopio robótico de 20 cm de esta red opera desde 2021 en La Habana. La construcción del segundo telescopio de 50 cm ha estado llevándose a cabo desde 2023 y se espera instalar en 2025 cerca de Kislovodsk (Rusia). De acuerdo con el plan actual, un tercer telescopio de 1 m será instalado en 2030 en Valle de Picadura (Cuba). En la presente contribución, se describen los principales parámetros y el equipamiento científico del telescopio de 50 cm, y se discute su papel en la red global de telescopios ruso-cubanos.

PACS: Telescopes (telescopios), 99.55.-n; optical instruments (instrumentos ópticos), 07.60.-j; astronomical observations (observaciones astronómicas), 95.85.-e.

I. INTRODUCTION

The collaboration between Russia and Cuba on astronomical research began in 2017. The Russian-Cuban working group on cooperation in science, technology and the environment was established, which included representatives of the governments and ministries of the two countries.

The Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences (INASAN, Moscow, Russia) and the Institute of Geophysics and Astronomy (IGA, Havana, Cuba) have been implementing a joint international project, with the goal of building a Russian-Cuban multi-task network of optical telescopes RCO (Russian Cuban Observatory) (Fig. 1). The process of the RCO construction is divided into three stages. At the beginning of 2021, the first telescope was installed at the Institute of Geophysics and Astronomy of the Republic of Cuba in Havana [1]. It was the first result of the fruitful cooperation between three organizations – IGA, INASAN and the Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences (IAA RAS) [2,3].

In 2023, the second phase of implementation of the Russian-Cuban optical telescope network began with the aim of building a 50 cm telescope in Russia.

II. IMPORTANCE OF THE OPTICAL TELESCOPE NETWORK

Distributed global optical telescope networks are efficient tools for modern observational astronomy and astrophysics, since many observational tasks require long continuous observation series of the studied objects.

As an example, we can reference the detection and tracking of newly discovered asteroids [4], photometric studies of variable stars [5] and the study of optical transient events, e.g. sources of gamma-ray bursts and tidal disruption events.

If the network is made up of telescopes of different apertures with different kinds of scientific instruments, it will be possible to carry out different research tasks. At least two types of telescopes should be included in the network – wide-field survey telescopes and a middle-aperture follow-up telescopes equipped with cameras and spectrographs.

The global and universal Russian-Cuban network of optical telescopes RCO should include survey telescopes with an aperture of larger than 0.2 m and a field of view of the order of several degrees, and astrophysical telescopes with an aperture of more than 0.5 m equipped with cameras and spectrographs. As mentioned before, the first RCO wide-field of view 20 cm robotic telescope has been put into operation and works as a multipurpose astrometric and photometric instrument [2,3].

The most interesting objects will be studied in more detail with larger telescopes both in spectroscopic and photometric modes. The best way to have a guaranteed time for such follow-up observations is to have dedicated telescopes within one network. For this purpose, the 50 cm telescope is under construction in the ongoing stage 2 of the RCO network. Thereafter, in stage 3 of the RCO network construction, a 1 m telescope will be built.



Figure 1. Russian-Cuban network of optical telescopes (RCO) illustrating the first two telescopes included.

Other telescopes from Russia and worldwide can be used for follow-up observations of the most interesting objects, e.g. INASAN's 2 m telescope at the Terskol observatory and 1 m telescope at the Simeiz observatory. According to the existing agreements, the 0.5 m telescope of the Ussuri Department of the IAA RAS and the 0.5-1.5 m telescopes of the astronomical institutes of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Republic of Tajikistan will also be used for follow-up observations. The joint usage of these observation sites and telescopes within the network allows observations along an arc of 214° (or 14.3 h) in the northern hemisphere. Taking into account the length of the observation nights (6 to 12 hours) for the above-mentioned observation sites, it is possible to carry out a practically round-the-clock monitoring program and alert observations.

III. IMPLEMENTATION OF THE RUSSIAN-CUBAN DISTRIBUTED GLOBAL OPTICAL TELESCOPE NETWORK

The process of the RCO construction is divided into three stages. In 2021, the first node – RCO optical station in Havana was built and began operation.

The second phase of implementation of the Russian-Cuban optical telescope network began in 2023 with the aim to build an observation station close to Kislovodsk (Russia) with a 50 cm multipurpose (photometry and spectroscopy) telescope. According to the schedule, this node should begin scientific operation in 2025. In the third stage, a custom 1 m wide-field telescope with spectroscopic, astrometric and photometric capabilities will be designed and built. It will be installed in Cuba at the Valle de Picadura observatory located 80 km east of Havana. This telescope should begin its operation in 2030.

IV. THE SECOND RCO STATION WITH 50 CM ROBOTIC TELESCOPE FOR SPECTROSCOPY AND PHOTOMETRY

As mentioned before, the second node of the Russian-Cuban optical telescope network will be equipped with a 50 cm telescope (Fig. 2). It is the first telescope of the network with both spectroscopic and photometric functionality. The time difference of 8 hours (120 degrees) between the Kislovodsk (central part of Russia) and Cuba allows for continuous observations of up to 16 hours. The location of the second telescope in Russia significantly boosts the functionality of the Russian-Cuban network both in terms of global coverage and observation modes.

The RCO observation station close to Kislovodsk will be equipped with (a) Astrosib RC500 0.5 m aperture telescope with switchable diagonal mirror for fast change the observation mode, (b) equipment for astrometric (positional) and photometric observations: FLI Kepler 4040 camera with Johnson-Cousins-Bessel UBVRI filters; (c) equipment for spectroscopic observations: suspended BACHES spectrograph with ZWO ASI294 MM camera and active optics; (d) Astrosib FMDD-700 direct drive mount; and (e) Astrosib ASD-4.5 dome;

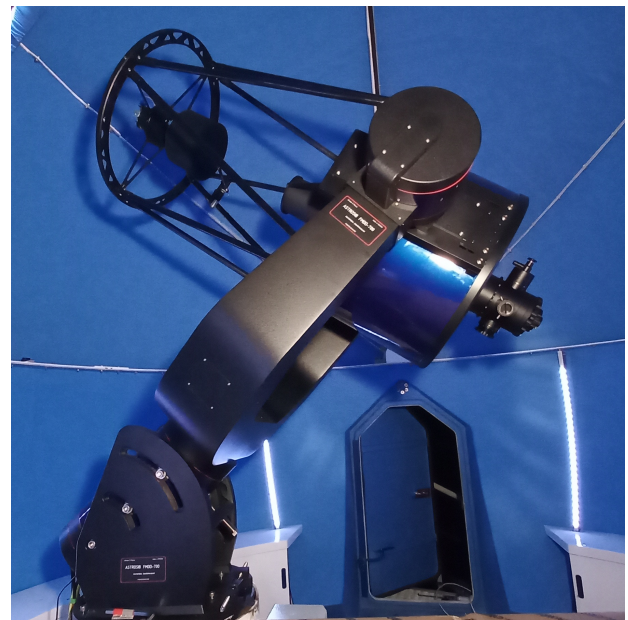


Figure 2. RC500 0.5 m aperture telescope for the second RCO station near Kislovodsk (Russia).

The RC500 is a 0.5 m aperture Ritchey-Chretien telescope produced by ASTROSIB Ltd in Russia. The optical system with a 508 mm primary mirror is housed in a carbon-fiber truss design optical tube assembly. It has a two-lens field corrector whose equivalent focal ratio is F/8 (focal length 4000 mm), and has an optical assembly mass of 68 kg. The telescope is equipped with a motorized focuser and motorized primary mirror covers.

The RC500 telescope is mounted on an Astrosib FMDD-700 equatorial fork mount equipped with direct drive motors and

26 bit absolute encoders. It is housed in a 4.5 m Astrosib ASD-4.5 all-sky dome installed on an original hyperboloid 5.4 m high pier design by INASAN.

It has two main scientific instruments – a camera and a spectrograph, which are quickly interchangeable by the telescope’s folding mirror. Both modes of operation, photometry and spectroscopy, are available to the user at any time without the need to mechanically modify the telescope’s setup. The time to switch between two instruments is less than 1 minute, which allows for a very flexible observational program every night.

BACHES (Basic Echelle Spektrograph) is a compact, lightweight, and inexpensive medium resolution ($R \sim 20000$) Echelle spectrograph manufactured by Baader Planetarium GmbH (Germany) (Fig. 3). BACHES@head allows acquiring spectra of the object of interest as well as calibration spectra. With a 0.5 m telescope it is capable of obtaining spectra of 10 mag targets with a SNR of 20 for 30 minute exposures. The spectrograph is very compact and well suited for remote autonomous operation at a robotic observatory.

The BACHES was already procured and has been successfully used on the 1 m telescope at the INASAN Simeiz observatory for several years: it will be relocated to the new 0.5 m RCO telescope.

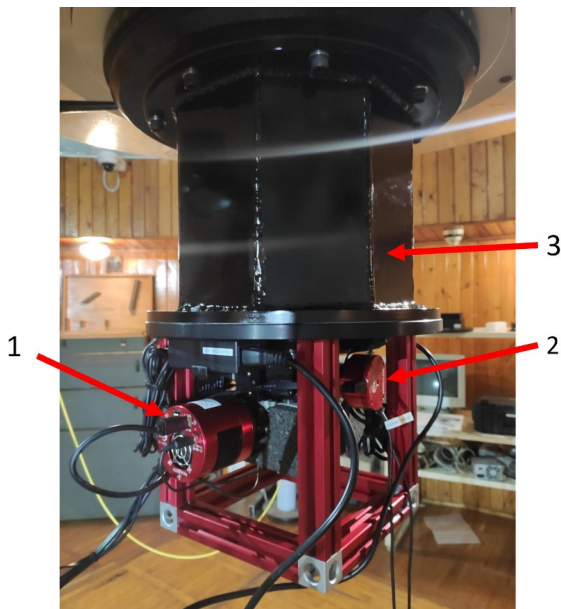


Figure 3. BACHES spectrograph on INASAN Simeiz Zeiss-1000 telescope. (1) the main spectrograph’s camera, (2) guide camera and (3) telescope adaptor.

The BACHES main parameters are (a) average spectral resolution: $R \sim 20000$ with slit $25 \times 130 \mu\text{m}$; (b) spectral range: $3920\text{--}8000 \text{ \AA}$ continuously (depending on detector size); (c) Spectrograph efficiency: $\sim 27\%$ at 5040 \AA , total efficiency $\sim 11\text{--}13\%$; (d) limiting magnitude: ~ 10 mag. visual (SNR=20, 30 min. exposure); (e) detector: low noise and extra high sensitivity cooled back-illuminated sCMOS camera ZWO ASI294MM, Sony IMX492, sensor size $19.1 \times 13 \text{ mm}$; and (f) fiber feed calibration module: Thorium-Argon hollow cathode lamp and Tungsten flat-field lamp.

The spectrograph is equipped with a tip-tilt active optics Starlight SXV-AO-USB module with a ZWO ASI178MM fast guide camera. Active optics allows for long spectroscopic observations with an exposure of up to 0.5 hour and more. A simple achromatic telescope’s focus extender F/8 to F/10 is used to couple the spectrograph with the telescope.

The second RCA 50 cm telescope’s scientific instrument is the sCMOS camera FLI Kepler 4040. The camera’s main parameters are (a) sensor: GPIXEL GSENSE4040, (b) format: 4096×4096 pixels; (c) pixel size: $9 \mu\text{m}$; (d) full well Capacity: 70000 e-; (e) shutter type rolling and mechanical; (f) typical system Noise: 3.7 e-; (g) typical dark current: $< 0.5 \text{ e-}/\text{pixel}/\text{sec}$ at -30°C ; and (h) typical nonlinearity: $< 1\%$.

The camera is equipped with a FLI CFW5-7 filter wheel with 7 slots for photometric filters. In the first step, 5 filters of the standard Johnson-Cousins-Bessel system UBVRI will be installed. The sixth slot of the filter wheel will be used for broad-band imaging (integral light) to achieve maximum sensitivity of the telescope. In particular, this mode is efficient to search for new objects such as asteroids, comets and space debris. The seventh slot of the filter wheel will be reserved for future scientific observation programs.

The 50 cm telescope time service uses high accuracy time signals coming from GPS and GLONASS. It provides timing for all acquired frames and coordinates information.

V. RCO STATION OPERATION

The observation site close to Kislovodsk has a set of equipment that can be operated remotely and autonomously: the weather stations, lightning detector, GPS/GLONASS receiver, all-sky camera and surveillance cameras. All the equipment of the 50 cm RCO robotic observatory has standard device drivers. The observatory is controlled by a set of special software created by INASAN. It allows the control of all devices to perform scientific observations, data storage and data processing remotely.

The RCO observation station close to Kislovodsk will operate in a fully robotic mode with remote access by INASAN and IGA staff. It will allow Cuban astronomers to conduct scientific research both in photometric and spectroscopic modes in the territory of the Russian Federation at a site with good astro-climatic conditions.

The main tasks of the IGA staff during the construction of the RCO observation station at Kislovodsk are: (a) to conduct astronomical and astro-climatic observations, (b) to process astronomical and astro-climatic data, (c) to conduct educational events and internships for Cuban scientists in the Russian Federation.

VI. CONCLUSIONS

The Russian-Cuban RCO network is set out in 3 stages: the first one includes the 20 cm telescope which has already been built in Havana (Cuba), the second stage includes the 50 cm telescope which is currently under construction close to

Kislovodsk (Russia), and in the third stage a 1 m telescope will be built at Valle de Picadura (Cuba).

In 2025, after the beginning of the 50 cm telescope operation, the Russian-Cuban network functionality will improve significantly both in terms of global coverage and observation modes, including spectroscopic observations and more precise photometric observations.

The 50 cm telescope of the second RCO observation station close to Kislovodsk will operate in a fully robotic mode. It will allow Cuban and Russian astronomers to conduct scientific research both in photometric and spectroscopic modes.

VII. ACKNOWLEDGMENTS

The Russian team acknowledges financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2023-608 of August 30,

2023). The Cuban team acknowledges material, technical, and financial support by the Ministry of Science, Technologies and Environment of the Republic of Cuba.

REFERENCES

- [1] D. V. Bisikalo, M. E. Sachkov, M. A. Ibrahimov, et al., *Astron. Rep.* **66**, 38 (2022).
- [2] A. Alonso-Díaz y col. *Rev. Cubana Fis.* **37**, 162 (2020).
- [3] S. A. Naroenkov, M. A. Nalivkin, I. S. Savanov, A. Alonso-Díaz, F. González, S. Derry, N. Paula-Acosta, *Rev. Cubana Fis.* **39**, 115 (2022).
- [4] D.V. Bisikalo, I.S. Savanov, S.A. Naroenkov, M.A. Nalivkin, A.S. Shugarov, et al., *Astron. Rep.* **62**, 367 (2018).
- [5] S.A. Naroenkov, I.S. Savanov, M.E. Sachkov, M.A. Nalivkin, *Astron. Rep.* **66**, 827 (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.



EN EL ICIMAF, UN ESPACIO DE APRENDIZAJE Y MOVILIZACIÓN

El de las ciencias, ese ámbito que trabaja con datos duros y experimentales, parecería ajeno a la desigualdad de género. Pero no es así, como quedó comprobado durante los tres días que duró —del 22 al 24 de noviembre, en la sede del Instituto de Cibernética, Matemáticas y Física (ICIMAF)—, el Taller sobre empoderamiento de la mujer en las ciencias.

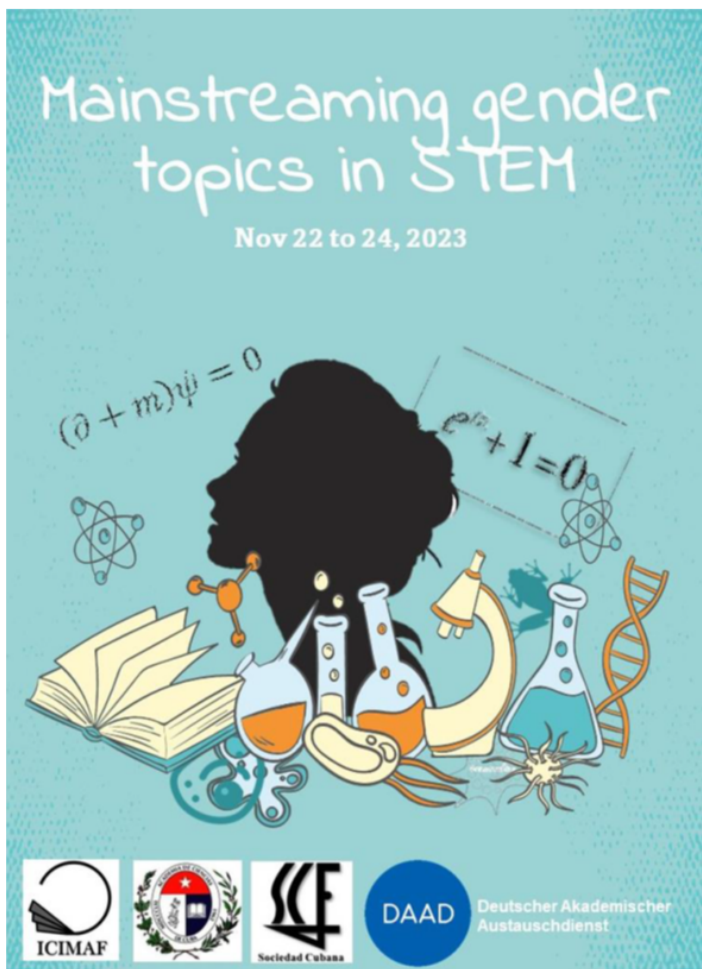
Concebido para analizar la desigualdad de género en las ciencias y las tecnologías (Mainstreaming Gender Topics in STEM, por su nombre en inglés), regaló a las participantes una oportunidad para confirmar que el asunto de la desigualdad de género llega a todos los niveles de la sociedad y para crear un espacio de aprendizaje colectivo acerca de cómo las científicas han debido padecer esa desigualdad a veces, incluso, a costa de su propio desarrollo profesional. Por supuesto, también generó una reflexión acerca de estrategias útiles para sortear y combatir tales injusticias. Fue un espacio de crecimiento y de afectos, de soñar juntas y juntos proyectos futuros. Las doctoras Aurora Pérez Martínez y Elizabeth Rodríguez Querts, del ICIMAF, dieron la bienvenida a las participantes (físicas, químicas, matemáticas, biólogas, médicas y estudiantes de esas especialidades, además de invitadas de ciencias sociales), para pasar enseguida a la presentación y proyección de “Picture a Scientist”, un movilizador documental estadounidense de 2020 que registra el proceso de concientización y denuncia del acoso y la violencia sufridos en los inicios de sus respectivas carreras, solo por ser mujeres, por parte de varias científicas que encabezan hoy sus respectivas disciplinas.

En el medio científico, tan aparentemente a salvo de las brechas de género, la cultura patriarcal halla el modo de crear relaciones desiguales, de normalizar la superioridad masculina y el acoso sexual. El documental aborda asimismo un caso de discriminación donde se cruza la discriminación por género con la discriminación por raza, otro de los flagelos del ámbito laboral en cualquier latitud. Por eso esta valiente iniciativa —que, no obstante, muestra también la postergación de la denuncia, hasta lograr establecerse, pues hay un caso anónimo de una mujer que tuvo que abandonar su proyecto de formación luego de haber denunciado el abuso— pone en evidencia las dificultades de las científicas para hacer valer sus resultados, su derecho a condiciones iguales de trabajo y, en aquel contexto, incluso su derecho a un salario semejante al de sus pares varones. Intenso, emotivo, provocador, el documental, presentado a distancia por la Dra. Laura Sagunski, provocó un amplio debate, coordinado por la MSc. Laura Azor, en que afloraron reflexiones, anécdotas y hasta el relato de un proceso penal inefectivo a un acosador, aquí, en Cuba. Al final, quedamos advertidas de cuánto necesitamos una cobertura total y articulada para combatir la violencia de género en nuestra sociedad y en el enfoque patriarcal de la organización del trabajo (sea científico o no). Una deuda que tenemos con las cubanas del futuro. La Dra.

María Sánchez Colina y la MSc. Laura Azor, de la Universidad de La Habana, presentaron sus intervenciones y saludaron a las participantes en la segunda jornada. Una conferencia a distancia de la Dra. Demilade Fayemiwo, merecedora del Premio L’Oreal de Ciencias, sobre las desigualdades ocultas, aquellas más difícilmente perceptibles (entre otras cosas, porque son parte de la cultura en que nos formamos), abrió el debate. Nos habló del síndrome del impostor (la percepción de que estamos en un lugar que no nos corresponde), de la intromisión de los supervisores y tutores en la vida privada de sus estudiantes y de los cuestionamientos de sus capacidades o aspecto personal, entre otros temas. Su charla fluyó en un ambiente de mutua simpatía e intercambio e hizo aflorar temas como el de las cuotas de género, aunque la igualdad numérica nunca será suficiente. Alertó acerca de las fallas de liderazgo, de cuál cultura estamos contribuyendo a construir al interior de los procesos de investigación, de por qué nos sentimos siempre a prueba, y de cómo construir un modo, en tanto científicas, de lidiar con la transferencia de esos sistemas desiguales. En fin, acerca de la necesidad de despatriarcalizar nuestras relaciones en cualquier instancia para acabar de una vez con la percepción de aquellas mujeres con opinión e ímpetu para el trabajo como “problemáticas” (indóviles, decimos las feministas).

Esa misma tarde intervinieron las doctoras Zaida Capote Cruz, del Instituto de Literatura y Lingüística, y Mayda Álvarez Suárez, del Centro de Estudios de la Federación de Mujeres Cubanas, para hablar sobre los debates feministas en Cuba y sobre el Programa nacional para el adelanto de la mujer, respectivamente, lo cual generó un amplio intercambio acerca del papel de la FMC en la sociedad, de las falencias de sus métodos actuales de trabajo, de las condiciones de implementación insuficientes de los comités de género para darle seguimiento al PAM (con el peligro de que se conviertan en otra acumulación de gestos huecos, sin contenido real, apenas una formalidad), de la necesidad de crear conciencia pública e inundar los medios con mensajes formativos para divulgar cuál debe ser la ruta de denuncia frente a un caso de violencia de género, de las estrategias de acompañamiento y abrigo para mujeres violentadas, de la capacitación de las autoridades implicadas, de la promoción de una educación sin violencia, etc.

El debate mantuvo su intensidad y salieron a relucir ejemplos de cómo la sociedad no valora el trabajo de reproducción de la vida, el trabajo doméstico y la crianza de los hijos: por ejemplo, el descuento del 2% por cada año de licencia de maternidad sin sueldo en el cálculo de la jubilación de las mujeres. Así, quien sea madre de dos hijos pierde un año de jubilación. Es una desventaja específica de las mujeres: de esas “desigualdades ocultas” de las que se hablaba el primer día. Si somos cada vez más conscientes de que el maternaje es un trabajo, pues tendría que tener retribución.



Cartel del encuentro, diseñado por el MSc. Duvier Suarez Fontanella, doctorante en Física en el ICIMAF.

Por su parte, las doctoras Amalia Peix González, del Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, y Claudia Carricarte, de la Universidad de La Habana, abordaron los padecimientos y las condiciones específicas de la salud de las mujeres, como la cardiopatía en el embarazo, o cómo el sesgo en las investigaciones farmacéuticas —por ejemplo, cuando la investigación en animales se hace solo con ejemplares machos—, puede tener consecuencias inesperadas para la salud femenina. Estas intervenciones contribuyeron a hacernos más conscientes de cuán amplias son las consecuencias de la desigualdad y de la ignorancia de las diferencias de género, las cuales pueden afectar la investigación, los servicios médicos, la morbilidad y hasta los índices de mortalidad.

Fueron días cargados de conocimiento y emociones, de discusiones y sueños. Y también de denuncias y búsqueda de rutas comunes para enfrentar la desigualdad que de tan habitual a veces resulta imperceptible. Las organizadoras aplicaron una encuesta sobre la norma número 5 de la ONU para la igualdad de género, conocida por sus siglas en inglés SDG5. La discusión de sus resultados ocupó la jornada final. Entre los datos estadísticos que arrojó, una vez procesada por el Lic. Ernesto Rodríguez Martínez, maestrante en Estadística Matemática e integrante del grupo de Estadísticas del ICIMAF —el mismo grupo que se encargó de las estadísticas durante la pandemia y colaboró en el artículo de la revista Lancet sobre

los resultados de la vacuna Abdala—, están estos: La edad media de los encuestados fue de 36 años, lo cual demuestra que los estudiantes no la tomaron en cuenta; la mayoría reconocía los temas asociados a la desigualdad de género, pero no tenía recursos para corregirla; el número de mujeres participantes fue mayor que el de hombres.

Acerca de la experiencia en otras provincias se realizó un panel cuyas participantes fueron la Dra. Victoria Hernández Mederos, del ICIMAF, la MSc. Zulima Rivera Álvarez, del Instituto de Sismología de Santiago de Cuba, la Lic. Maybet Más Díaz, de la Universidad de Matanzas, y la estudiante de arquitectura Verónica Nates Rodríguez, de la Universidad de Oriente. Allí emergieron otros síntomas: las sismólogas del CITMA no reciben ropa apropiada para los trabajos de campo, no se adquieren botas de su talla ni se garantiza el traslado a las zonas donde deben investigar. En las universidades siguen trabajando profesores acosadores porque no hay cómo sustituirlos; hay sesgos de género explícitos en la enseñanza, por ejemplo, de la Física.

Entre las propuestas más importantes del encuentro están la solicitud a la FMC de ampliar el alcance de la encuesta del organismo de economía y sociedad de la ONU (ECOSOC) y la de incluir explícitamente en los reglamentos universitarios y laborales el tema de género, así como vías para la prevención del acoso sexual y la discriminación y recursos para combatirlos. El taller no solo cumplió sus objetivos, sino que superó las expectativas de sus organizadoras. La inclusión de investigadoras en Ciencias Sociales, la colaboración de jóvenes investigadores en el diseño del cartel y el procesamiento de la encuesta, así como su asistencia y participación en las discusiones, amplió su proyección en el entorno profesional de las ciencias.

El registro histórico de la labor de las científicas, la conformación de una base de datos sobre mujeres en las ciencias, el trabajo de la web Mujeres-en-Ciencias.org, gestionada por el MSc. Adrián William Romero, hacen de estos encuentros y del proyecto Mujeres en Ciencias un espacio de colaboración entre hombres y mujeres comprometidos con la igualdad y un ámbito de acompañamiento y solidaridad entre las científicas (quienes son el 53 % de los profesionales de su campo) para enfrentar los desafíos que la desigualdad de género insiste en presentarnos cada día.

Como parte del proyecto de colaboración Empowering Women in STEM in Cuba, financiado por el servicio de cooperación del gobierno alemán (DAAD) y liderado por la Dra. Aurora Pérez Martínez, del ICIMAF, y el Dr. Marcus Bleicher, de la Universidad Goethe de Frankfurt, el taller sigue abriendo caminos para el combate contra la injusticia y la necedad de un sistema de relaciones que es un constante generador de inseguridad laboral, incertidumbre profesional e infelicidad en la vida íntima. Estimular la concientización de todos, hombres y mujeres, sobre estos temas, es la mejor vía para combatir ese flagelo.

Zaida Capote Cruz
Instituto de Literatura y Lingüística

PARA INVESTIGAR LO ULTRA-RÁPIDO: EL PREMIO NOBEL DE FÍSICA 2023

La Academia de Ciencias sueca ha conferido el Premio Nobel de Física 2023 a Pierre Agostini (The Ohio State University, Columbus, Estados Unidos), Ferenc Krausz (Max Planck Institute of Quantum Optics, Garching and Ludwig-Maximilians-Universität München, Alemania) y Anne L’Huillier (Lund University, Suecia) por la creación de “métodos experimentales para generar pulsos de luz

de atosegundos de duración para estudiar la dinámica de los electrones en la materia”. Se trata del desarrollo de técnicas experimentales imprescindibles para el estudio de los procesos ultra-rápidos que ocurren dentro de los átomos y moléculas.

E. Altshuler

CUBA PARTICIPA POR VEZ PRIMERA EN LA OPEN WORLD ASTRONOMY OLIMPIAD (OWAO 2023)

Entre el 11 y el 21 de noviembre tuvo lugar la Open World Astronomy Olimpiad 2023 (OWAO 2023). Se trata de una Olimpiada de conocimientos de Astronomía y Astrofísica dirigida a jóvenes de todo el planeta conocedores de estos temas o interesados en ellos. La sede de la competencia fue Sirius, un territorio federal ruso ubicado entre Mzymat y Psou, en las montañas del Cáucaso, donde ha sido creado un grupo de centros especializados en promover y desarrollar el talento por las ciencias y la actividad científica de los más jóvenes. Con la OWAO 2023, Cuba participa por primera vez en una Olimpiada de este tipo –en modalidad virtual– con el primer equipo de jóvenes de preuniversitario que se aventura en estas lides.

Los participantes por Cuba, fueron: Alejandro Pellicer Capote (Medalla de Plata), Michel García Mendoza (Medalla de Bronce), Arián Docina Rodríguez (Mención Honorable) y Adriana Zemer Naranjo que provenían del Colegio Universitario de la Universidad de La Habana; Daniela Elda Ledesma (Medalla de Bronce) del IPU “Rubén Martínez Villena” (municipio Playa, La Habana), María Claudia Argote Estrada (Mención Honorable) y Liz Diana Huerta Rivas, del IPVCE “V. I Lenin” (La Habana) y Adonais Toscano Mesa, del IPU “Manuel Calcines” (San Miguel del Padrón, La Habana).

Todos los participantes se habían entrenado previamente en una Escuela de Verano de Astronomía del pasado agosto. Los entrenamientos, que tuvieron lugar en el Planetario de la Habana y en la Facultad de Física de la Universidad de la Habana, habían tenido lugar durante las tres primeras semanas de agosto de 2023, dentro del proyecto PPEAF (Perfeccionamiento del Proceso de Enseñanza-Aprendizaje en la Física) a cargo del Prof. Francisco González Veitía,

especialista del Instituto Cubano de Geofísica y Astronomía (IGA). En ellos, se abordó desde los sistemas de coordenadas celestes, hasta nociones de modelos cosmológicos y su evolución, pasando por las características físicas de los más significativos objetos y sistemas de objetos celestes. Los temas tratados atraparon la atención de los estudiantes de preuniversitarios de la Habana y profesores de esa enseñanza que mantuvieron la sala de Planetario siempre llena.



Algunos participantes y entrenadores para la OWAO 2023. De izquierda a derecha fila del frente: S. Larramend (PPEAF), María Claudia Argote, Michel García, Adonais Toscano, Daniela Elda Ledesma y Arián Docina. De izquierda a derecha en la segunda fila: Alejandro Pellicer y Francisco González (IGA).

Saúl Larramendi

Facultad de Física, Universidad de La Habana

CONVIRTIENDO LOS “COFFEE BREAKS” EN CIENCIA

La escuela del ICTP “Collective Animal Behaviour” se celebró en la Facultad de Física de la Universidad de La Habana del 13 al 24 de noviembre de 2023, organizada por E. Altshuler y R. Mulet (Universidad de La Habana) y F. Celani (ICTP). La escuela abarcó desde temas puramente biológicos hasta modelación física del comportamiento colectivo en animales. La primera semana, impartieron sendos cursos Deborah Gordon (Stanford University, USA) y Melanie Moses (University of New Mexico, USA), donde

dominó el enfoque biológico y de ciencias de la computación aplicada. En la segunda semana los profesores fueron Marcelo Magnasco (Rockefeller University, USA) y Francesco Ginelli (Universidad de Insubria, Italia), y predominó más el punto de vista físico para modelar el comportamiento colectivo. Además, impartieron seminarios invitados los profesores Alejandro Barro y Roberto Alonso (Facultad de Biología, Universidad de La Habana), Patricia González (Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La

Habana) y Alejandro Lage (Centro de Sistemas Complejos, Universidad de La Habana). Atendieron sistemáticamente la Escuela alrededor de 30 participantes, entre ellos 8 extranjeros provenientes de Argentina, Brasil, Colombia, Perú y el Salvador. Como elemento distintivo de la Escuela, se filmaron desde el tercer piso del edificio de Física todos los “coffee breaks” (a los que se accedía a través del patio, desde el teatro), y otras varias actividades, con la idea de que los participantes analizaran... su propio comportamiento colectivo. Llevando aún más allá la idea de realizar observaciones experimentales durante la actividad, se organizó una excursión a la costa norte cubana para realizar “snorkeling” y filmar el comportamiento colectivo de peces tropicales con cámaras subacuáticas. Más allá de su interés didáctico, sólo el tiempo y el trabajo sistemático dirán si estas actividades pueden cristalizar en resultados científicos palpables. Aunque el evento sufrió financieramente

por causas externas e internas al país, se hizo posible gracias a la contribución del ICTP, de la Universidad de La Habana, y a los aportes de los propios participantes



ICTP School on Collective Animal Behaviour. Panel de la izquierda: Foto de grupo (en la primera fila, de derecha a izquierda, Melanie Moses y Deborah Gordon). Panel de la derecha: trayectorias de los participantes al trasladarse desde la salida del teatro de Física (abajo en la foto) hasta las mesas donde se desarrollaba el coffee break (arriba en la foto). (Imágenes: E. Altshuler y L. Martínez-Ortiz).

E. Altshuler

ESCUELA DE VERANO GERMANO CUBANA EN EL ICIMAF



Foto de grupo de los participantes en la GCSS 2023.

Entre el 27 de Noviembre y el 4 de Diciembre del presente año 2023 se celebró en La Habana la octava edición

de la Escuela de ‘Verano’ Germano-Cubana (GCSS) 2023, organizada por investigadores del Departamento de Física Teórica del Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF) y profesores de la Universidad de Goethe (GU) de Frankfurt. El evento -fruto de la colaboración entre ambas instituciones- reunió a más de 40 participantes, en su mayoría estudiantes de pre y postgrado del ICIMAF, la Facultad de Física y el InSTEC.

El programa incluyó cursos cortos impartidos por profesores de la GU sobre Teoría de la Física de Partículas, Astrofísica, Astrofísica en el laboratorio, Experimentos, Ciencia, comunicación científica y oportunidades para estudiantes extranjeros en Alemania, así como sesiones prácticas con ejercicios. También hubo espacio para las presentaciones de estudiantes, sobre sus temas de investigación.

Elizabeth Rodríguez
ICIMAF

CUBA EN LA XXVIII OLIMPIADA IBEROAMERICANA DE FÍSICA

El pasado 30 de septiembre de 2023 se realizó la XXVIII Olimpiada Iberoamericana de Física con sede en Costa Rica, en modalidad virtual. Participaron varios estudiantes cubanos de preuniversitario: Carlos Daniel Chaviano (Medalla de Plata), José Alejandro Romero Gil (Medalla de Bronce) de Las Tunas, Adrián Arsenio Garcés Jiménez (Mención Honorífica), Francis Laffita Camargo, Josué Pablo Moya Tornet (Mención Honorífica) y Favio Arzola Fonseca. Entre el mes de julio y septiembre de 2023, la Facultad de Física de la Universidad de la Habana, por intermedio del proyecto PPEAF

(Perfeccionamiento del Proceso de Enseñanza-Aprendizaje en la Física), había ofrecido entrenamiento en actividades experimentales a los jóvenes miembros del equipo Cuba. Sus entrenadores, los profesores Uberlando Labrada y Fidel Labañino y varios profesores de la Facultad de Física (Universidad de La Habana) merecen mención de reconocimiento.

S. Larramendi
Facultad de Física
Universidad de La Habana

SE DESPIDE EL FUNDADOR DE LA REVISTA CUBANA DE FÍSICA



Daniel Stolik Novygrad (28 de mayo de 1940 – 14 de septiembre de 2023)

El pasado 14 de septiembre falleció en La Habana el Doctor en Ciencias Físicas y Profesor Emérito de la Universidad de La Habana Daniel Stolik Novygrad, destacado representante de la primera generación de científicos cubanos graduados en la URSS y otros países socialistas europeos en los años 1960s, que tanto contribuyeron a las transformaciones de la Ciencia y la Educación Superior en nuestro país. En las últimas décadas, fue muy notable su aporte a la promoción de la Energía Solar Fotovoltaica, esfera en la que tuvo un liderazgo ampliamente reconocido a nivel nacional.

Daniel Stolik Novygrad había nacido en La Habana el 28 de mayo de 1940, en una familia de emigrantes judíos que huyeron de Polonia en vísperas de la Segunda Guerra Mundial. Su infancia y primera juventud transcurrieron en el pueblo de Batabanó, actual provincia de Mayabeque. Cursó el bachillerato en el Instituto de Segunda Enseñanza de la Víbora. Allí se vinculó a las luchas estudiantiles contra la tiranía batistiana. Al triunfo de la Revolución trabajó algún tiempo en el ministerio de Relaciones Exteriores y a principios de 1961 se incorporó al primer contingente de jóvenes cubanos que partieron a la Unión Soviética para cursar carreras universitarias. Aunque su intención inicial era estudiar Ingeniería Eléctrica, matriculó la carrera de Física en la Universidad de Amistad con los Pueblos "Patricio Lumumba", de donde egresó con Diploma de Oro en 1966. Concluidos sus estudios, se incorporó como profesor a la Escuela de Física de la Universidad de La Habana (UH), que había sido fundada por la Reforma Universitaria de 1962 y aún se encontraba en etapa de consolidación. Integró aquel grupo de jóvenes brillantes que irrumpieron en el incipiente claustro, asumieron múltiples responsabilidades docentes y transformaron radicalmente la joven Escuela, aportando los

conocimientos y la visión adquirida durante su formación, junto a su entusiasmo, capacidad, compromiso social y energía. Stolik asumió la impartición de varias asignaturas, así como la difícil responsabilidad de proyectar y organizar las incipientes investigaciones, junto a otras tareas. En 1969 se convirtió en el primer Sub Director de Investigaciones que tuvo la UH y en 1970 fue designado Director de la Escuela de Física, aún sin cumplir 30 años.

Como Director, Stolik fue el principal arquitecto e impulsor de los grupos de investigación en Física del Estado Sólido, que transformaron la Escuela en un centro científico de reconocido nivel. Bajo su dirección, creció considerablemente el número de alumnos, profesores, técnicos y obreros. La consolidación de los planes y programas de estudios de Licenciatura en Física y el incremento de las graduaciones permitió nutrir con físicos bien preparados a otras instituciones científicas que fueron surgiendo en el país. Se desarrollaron las Escuelas de Verano y se dio inicio a la Maestría en Ciencias Físicas, los entrenamientos de postgrado en el extranjero y los doctorados. Fue también iniciador de los vínculos con el Centro Latinoamericano de Física y de la participación en los simposios de Física del Estado Sólido, muy trascendentes para el desarrollo de este campo de la Física en nuestro país. Inauguró la tradición, vigente hasta hoy entre los físicos de la UH, de sustitución programada de los cuadros, y regresó a la URSS, donde culminó su doctorado en Física de Semiconductores en el Instituto del Acero y las Aleaciones de Moscú en febrero de 1976.

A su regreso, fue designado Director de Postgrado del naciente Ministerio de Educación Superior, desde donde organizó las actividades de superación de los profesionales universitarios de todo el país. Durante ese periodo se mantuvo activo como profesor de cursos de pre y postgrado de Física de Semiconductores, la tutoría de tesis y la participación en tribunales de doctorado. Fue fundador de la Sociedad Cubana de Física y su primer presidente durante unos 10 años, promotor de la incorporación de los físicos a la industria y de la colaboración entre los físicos de todo el país. Fundó y dirigió la Revista Cubana de Física. Al concluir su trabajo en el MES se reincorporó a la Facultad de Física y se vinculó al Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) para impulsar las investigaciones en celdas solares y fortalecer su conexión con la industria nacional y la política energética del país. Fue llamado nuevamente al MES para cumplir funciones como representante en México primero y Director de Informatización después. Cuando regresó a la Facultad y al IMRE, continuó su trabajo en Energía Solar Fotovoltaica y creó la cátedra de Física y Música, labores que, a pesar de serios problemas de salud, prosiguió después de jubilado y hasta sus últimos días. Por su labor fundacional recibió en 2018 el Premio Honorífico Nacional de la Sociedad Cubana de Física, en ocasión del 40 aniversario de esta organización.

La vocación de Stolik siempre fue la de proyectar el trabajo de los físicos cubanos más allá de los límites académicos, y en eso tuvo resultados muy relevantes. Contribuyó decisivamente a darle a las investigaciones universitarias en celdas solares un mayor impacto social. Particularmente brillante fue su incansable labor de difusión de conocimientos y asesoría a la industria y al gobierno durante los últimos 30 años en relación con el desarrollo en Cuba de la Energía Solar Fotovoltaica. Stolik supo vencer grandes obstáculos y prejuicios. Con entusiasmo, y tenacidad admirables ganó, para sí y para la Universidad de la Habana, la Facultad de Física y el IMRE, un alto reconocimiento nacional e internacional, que se reflejó en la inversión realizada por el Ministerio de Energía y Minas para el equipamiento del laboratorio de investigaciones fotovoltaicas del IMRE. Impartió cursos y conferencias en Cuba y en el exterior. Escribió cientos de artículos, boletines de vigilancia tecnológica, informes, proyectos, dictámenes y otros documentos destinados a informar, actualizar y esclarecer sobre los aspectos científicos, tecnológicos, económicos, ambientales y sociales vinculados a la expansión de la Energía Solar Fotovoltaica dentro de la matriz energética cubana y a formular propuestas al respecto. Participó en decenas de comités técnicos, reuniones nacionales y grupos de trabajo en esta materia. Organizó y lideró, con extraordinaria capacidad de convocatoria, diez talleres anuales "Cuba Fotovoltaica" para debatir con todos los actores relevantes los tópicos más polémicos. Por esta labor recibió múltiples reconocimientos, incluido el Premio Nacional de Innovación otorgado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente y el Premio por la Obra de la Vida en la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía de la sociedad Cubasolar. El ciclo iniciado en 1992 con la monografía "Cuando la única energía es el Sol", publicada

por la Revista Cubana de Física y se cierra en 2019 con el libro "Energía Fotovoltaica para Cuba", premiado por la Academia de Ciencias de Cuba, que proporciona una visión integral sobre el tema, difícil de encontrar en otras fuentes. Sin embargo, a pesar de los indudables progresos alcanzados por el país en este campo, de los que era consciente, y del respeto y los reconocimientos hacia su persona, la actitud de Stolik hasta sus últimos días fue de gran honestidad intelectual, permanente inconformidad y crítica constructiva en relación con los ritmos y las vías para la transformación energética en Cuba. Aficionado a la música desde muy joven, realizó estudios musicales básicos cuando cursaba la carrera de Física en la URSS. Percusionista primero y saxofonista después, integró junto a otros estudiantes un grupo musical que dio funciones y realizó otros trabajos con vistas a recaudar los fondos necesarios para transportar a Cuba la ayuda recibida para los damnificados del ciclón Flora. A comienzos de los años noventa fundó en la UH la cátedra de Física y Música, desde la que realizó un original trabajo de extensión cultural, que incluyó cursos para músicos y un libro sobre el tema. Produjo decenas de composiciones, muchas de las cuales pueden escucharse en programas de la radio y la televisión cubanas. Dolorosa pérdida para la comunidad científica cubana, especialmente para sus muchos colaboradores y amigos, que admiraron tanto su brillantez intelectual como su alta calidad humana. Por su notable nivel científico, originalidad y elevado compromiso social, la extensa, multifacética y fructífera obra de Daniel Stolik Novygrad será una fuente de inspiración para nuevas generaciones de físicos cubanos.

*Dr. Carlos Rodríguez Castellanos
Facultad de Física
Universidad de La Habana*

CON LAS BOTAS PUESTAS



José Enrique Nieto Sánchez (25 de julio de 1933 – 9 de enero de 2023)

José Enrique Nieto Sánchez nació el 25 de julio de 1933 en Calabazar de Sagua, demarcación de Sagua La Grande, en la antigua provincia de Las Villas, Cuba. Tras laborar como bodeguero desde muy joven y desarrollar una intensa labor en la lucha anti-Batistiana, en 1974 pasa a ser profesor de Física de Secundaria Básica en Caibarién, ciudad donde se había asentado y formado su propia familia.

Paralelamente, estudia la carrera profesoral en el curso para trabajadores en el ISP "Félix Varela" en Santa Clara, y se desempeña durante dos cursos (1976-1978) como profesor adjunto del propio instituto: imparte Física a estudiantes del Destacamento Pedagógico, en la Filial de Remedios. Se graduó de Profesor Superior de Física en julio de 1978 y en septiembre de ese mismo año, ingresa como profesor de Física en la Universidad Central de Las Villas (UCLV) hasta su fallecimiento, el 9 de enero de 2023.

En la UCLV transitó por las diferentes categorías docentes hasta alcanzar las de Profesor Titular en 2010 y Profesor Consultante en 2021. Impartió docencia de pre y postgrado, destacándose su trabajo como profesor de física y cálculo de las carreras de Ciencias Agropecuarias y como profesor

y jefe de la Disciplina Física para Licenciatura en Química. Al reabrirse la carrera de Física de la UCLV en 2005, se desempeña como Jefe de las disciplinas Preparación para la Defensa y Física Teórica, así como profesor de Electrodinámica hasta 2021. Fue Profesor Principal de Año durante tres cursos, jefe del Dpto. de Física por sustitución (1995-1996) y Director Fundador de la Sede Universitaria de Caibarién en sus dos primeros cursos. Entre 2011 y 2013 laboró como Profesor Invitado en la Universidad "Eduardo Mondlane" en Mozambique.

Su pasión más grande fue la defensa de la Patria, y a ella consagró su vida. Se destacó por su activa participación en las tareas de la defensa. Fundador de las Milicias Nacionales Revolucionarias y de las Milicias de Tropas Territoriales, fue miembro de la Plana Mayor de la zona de defensa de Caibarién. Alcanzó los grados de Mayor de la Reserva. Fue miembro fundador de la Asociación de Combatientes en Caibarién y presidente creador de esta asociación en la UCLV. En 2009 defendió exitosamente su tesis de Doctor en Ciencias Pedagógicas Militares. Fue autor del libro "El pensamiento militar de Fidel. Magisterio de un jefe guerrillero (2017)". Su última publicación fue "Aplicaciones de la física y otras disciplinas en la preparación de los estudiantes universitarios para la defensa (2020)" en la Revista Cubana de Educación Superior. En su fructífera trayectoria recibió más de 20 distinciones, medallas y condecoraciones, varias de ellas por su labor como profesor: Distinción por la Educación Cubana, medallas Rafael María de Mendive y José Tey, y las órdenes Frank País de 1er y 2do grados. Falleció el 9 de enero de 2023 a la edad de 89 años. Sus compañeros de la universidad siempre lo recordarán como el caballero del verbo elocuente, que se dejó escuchar en múltiples escenarios: hubo momentos que se asistía a los claustros universitarios para escuchar lo que el profesor Nieto iba a decir, tal vez lo que todos hubieren querido expresar, pero que no encontraban las palabras precisas para hacerlo como él lo hacía. Nieto fue el patriota, el militar, el educador cabal, ejemplo en toda la extensión de la palabra, que murió como quiso, con las botas puestas; sin jubilarse.

*J.E. Hernández-Ruiz
Departamento de Física
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas*

LA FÍSICA EN CUBA PIERDE A UN CABAL HISTORIADOR



Ángelo Baracca (25 de junio de 1939 – 25 de julio de 2023)

El pasado 25 de julio falleció en Florencia, Italia, el desatado intelectual italiano, profesor de Física e Historia de la Ciencia, Ángelo Baracca, muy conocido también por más de medio siglo de activismo social en favor de la paz, el desarme nuclear y la protección del medio ambiente. Para los cubanos, su permanente solidaridad con Cuba tuvo su expresión más concreta en treinta años de colaboración con científicos cubanos y numerosas publicaciones sobre la historia de la física y la biotecnología cubanas.

Ángelo Baracca había nacido en Lugo, Italia el 25 de junio de 1939. Se doctoró en Física en la Universidad de Milán en 1965. Después de un corto período en la Universidad de Bologna, donde realizó investigaciones sobre Física de Altas Energías, en 1967 pasó a trabajar como profesor de Mecánica Estadística en la Universidad de Florencia. Perteneció a una generación muy influida por los acontecimientos de mayo de 1968 y en la medida en que se fue profundizando su militancia política, fue transitando hacia estudios críticos sobre la historia de la ciencia, su organización y desarrollo en las sociedades

modernas y la responsabilidad social de los científicos. Se interesó por los fundamentos epistemológicos de las nuevas disciplinas y por la relación de las ideas que promueven con las condiciones económicas, tecnológicas y culturales prevalecientes en las sociedades donde han surgido. Con “La Spirale de la Alta Energía” publicado junto a S. Bergia en 1975 se inicia su extensa obra. Un notable exponente es el “Manuale Criticco di Meccanica Statistica”, publicado en 1979. Este libro singular, constituye un original aporte a la enseñanza de la Física Estadística, que combina una detallada y actualizada presentación teórica de la disciplina con un riguroso análisis histórico de su desarrollo, desde una perspectiva marxista. Posteriormente, extendió este enfoque a cursos básicos de física para la universidad y la enseñanza media (1999). Escribió también una historia de la física italiana (2017).

Profundo conocedor de las tecnologías nucleares, se destacan sus libros sobre el programa nuclear italiano y numerosas contribuciones a la fundamentación teórica del desarme nuclear, sus denuncias contra la carrera armamentista, la depredación del medio ambiente y a favor de la paz mundial. Estos temas fueron centrales en su obra y lo acompañaron hasta sus últimos días.

A fines de 1994 visita por primera vez Cuba y se interesa por la historia de física cubana. Llamó su atención el nivel alcanzado y la originalidad de su desarrollo, resultado de diversas influencias, no sólo de la importante contribución soviética, y del profundo compromiso de la Revolución cubana con la ciencia como vía para superar el subdesarrollo y la dependencia. Le impresionó mucho que la ciencia cubana superara la prueba de fuego que representó la crisis desatada por el derrumbe del socialismo europeo y que se convirtiera en un arma para combatir esa crisis. Le estimuló comprobar el aporte realizado por varias generaciones de físicos italianos desde los años sesenta y encontró un espíritu de cooperación que le alentó a emprender el ambicioso proyecto de reconstruir y comprender la historia de este desarrollo. Se inicia así su larga y fructífera colaboración con los físicos cubanos, de la que muchos años después escribiría que “le cambió la vida”. Ángelo entusiasmó a todos con su proyecto. Con mucha modestia e infinita paciencia, logró que numerosos físicos cubanos y extranjeros contribuyeran al mismo y consiguió importantes apoyos internacionales. Se hizo frecuente su presencia en Cuba y su participación en nuestros “Talleres Iberoamericanos de Enseñanza de la Física”, donde promovió el papel de la historia en la enseñanza de las ciencias. De esta colaboración resultaron numerosos artículos y el importante libro “The History of Physics in Cuba”, editado junto a J. Renn y H. Wendt y publicado por Springer en 2014. Hasta sus últimos años continuó la colaboración para una segunda edición, ampliada y actualizada.

Su interés por la ciencia cubana continuó con la medicina y la biotecnología, materializado en varios artículos y dos libros publicados junto a Rosella Franconi: *Subalternity vs Hegemony, Cuba's Outstanding Achievements in Science and Biotechnology* (Springer, 2016) y *Cuba: medicina, scienza e rivoluzione, 1959-2014* (Zambon, 2019). Los éxitos de la ciencia y el sistema de salud cubanos en el enfrentamiento a la pandemia de Covid 19 lo llenaron de orgullo y contribuyó a su más amplia difusión.

La vida y la obra de Ángel Baracca constituyen un ejemplo de coherencia como científico y activista social. Su partida representa una sensible y dolorosa pérdida para la comunidad de historiadores de la ciencia y el movimiento ecopacifista. Los físicos cubanos hemos perdido a un entrañable colega y amigo, a nuestro historiador.

Carlos Rodríguez-Castellanos
Facultad de Física
Universidad de La Habana

