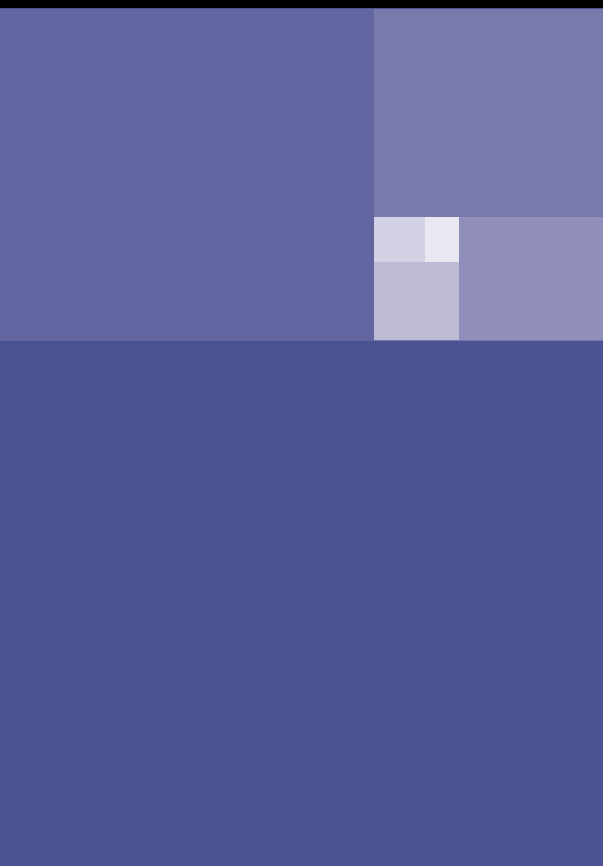




# Perfiles

Número 12  
Vol. 2-2014  
ISSN 1390-5740  
ISSN 2477-9105

Revista Científica de la Facultad de Ciencias



Física  
Química  
Matemática  
Estadística Aplicada  
Energías Alternativas  
Ciencias Ambientales  
Biotecnología  
Fitofarmacia  
Enfermedades Infecciosas  
Nutrición y Bromatología



### **Autoridades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo**

Ing. Rosa Elena Pino Neira  
Rectora

Ing. Geovanny Novillo Andrade  
Vicerrector Académico

Ing. Landy Ruiz  
Vicerrectora de Investigación y Posgrado

Ing. Fausto Marcelo Donoso  
Vicerrector Administrativo

Dra. Nancy Veloz  
Decana Facultad de Ciencias

Revista Internacional Arbitrada  
Distribución libre

### **CORRESPONDENCIAS Y SUSCRIPCIONES:**

Revista PERFILES  
Panamericana Sur, km 1 ½  
Riobamba, Ecuador  
Telef.: (593) (03) 2998200 ext 161  
Correo electrónico: [revistaperfiles@epoch.edu.ec](mailto:revistaperfiles@epoch.edu.ec)

PERFILES (ISSN 1390-5740) es una revista científica semestral publicada por la  
Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
ESPOCH, Riobamba – Ecuador  
Año XVIII  
Número 12

## **CUERPO EDITORIAL:**

### **PRESIDENTE**

Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador). [crecalde672000@yahoo.com](mailto:crecalde672000@yahoo.com)

### **EDITOR GENERAL**

Dr. Manuel Morales Yuste  
Universidad de Granada  
Facultad de Farmacia (Granada, España). [manumorayus@hotmail.com](mailto:manumorayus@hotmail.com)

### **COMITÉ EDITORIAL**

Dr. Benito del Castillo García  
Universidad Complutense de Madrid  
Académico Numerario de la Real Academia de Farmacia (Madrid, España)

Dr. Salvador González Carcedo  
Universidad de Burgos  
Facultad de Ciencias (Burgos, España)

Dr. Andrés León Leal  
Universidad de los Andes  
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela). [leonand@ula.ve](mailto:leonand@ula.ve)

Dr. Félix D. Andueza Leal  
Universidad de los Andes  
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela). [anduezaf@ula.ve](mailto:anduezaf@ula.ve)

Dr. Francisco Morillas Márquez  
Universidad de Granada  
Facultad de Farmacia (Granada, España). [fmorilla@ugr.es](mailto:fmorilla@ugr.es)

Dr. César A. Cisneros Ramírez  
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría  
Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (La Habana, Cuba). [cesar@ceter.cujae.edu.cu](mailto:cesar@ceter.cujae.edu.cu)

Dr. David Jaramillo Abril  
Universidad Nacional de Chimborazo  
Instituto de Ciencia e Innovación, Tecnología y Saberes (Chimborazo, Ecuador). [djaramillo@unach.edu.ec](mailto:djaramillo@unach.edu.ec)

Dr. Jorge L. Mírez Tarrillo  
Universidad Nacional de Ingeniería. (Lima, Perú). [jmirez@uni.edu.pe](mailto:jmirez@uni.edu.pe)

Dr. Carlos F. Ávila Vega  
Escuela Politécnica Nacional  
Facultad de Ingeniería Mecánica (Quito, Ecuador). [cavila67@caltech.edu](mailto:cavila67@caltech.edu)

Dra. Jenny M. Moreno Mora  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Facultad de Ciencias (Chimborazo, Ecuador). [jennymorenom@yahoo.com](mailto:jennymorenom@yahoo.com)

## **COMITÉ CIENTÍFICO**

### **DIRECTOR**

Dr. Juan Marcelo Ramos Flores  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Facultad de Ciencias (Chimborazo, Ecuador). [jmarceloramos@gmail.com](mailto:jmarceloramos@gmail.com)

### **MIEMBROS**

Dr. Gerardo E. Medina Ramírez  
Universidad de los Andes  
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela). [medinag47@gmail.com](mailto:medinag47@gmail.com)

Dra. Adriana C. Rincón Alarcón  
Universidad de los Andes  
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela). [rinconadri@yahoo.com](mailto:rinconadri@yahoo.com)

Dra. Morella L. Guillén Ferraro  
Universidad de los Andes  
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela). [morellaguillen@hotmail.com](mailto:morellaguillen@hotmail.com)

Dr. José Mejía López  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Facultad de Física (Santiago, Chile). [jmejia@puc.cl](mailto:jmejia@puc.cl)

Dr. Electo E. Silva Lora  
Universidad Federal de Itajubá  
Instituto de Ingeniería Mecánica (Itajubá, Brasil). [electo@unifei.edu.br](mailto:electo@unifei.edu.br)

Dr. Rubén Mario Caffera  
Universidad de la República  
Facultad de Agronomía (Montevideo, Uruguay). [rmcaffera@yahoo.com](mailto:rmcaffera@yahoo.com)

Dr. John Martin Evans  
Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina). [evansjmartin@gmail.com](mailto:evansjmartin@gmail.com)

Dr. Silvia de Schiller  
Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina). [sdeschiller@gmail.com](mailto:sdeschiller@gmail.com)

Biofísica Natali Alejandra Chávez Oleas  
Ministerio de Electricidad y Energía Renovable  
Dirección de Aplicaciones Nucleares (Quito, Ecuador). [natali.chao@gmail.com](mailto:natali.chao@gmail.com)

Dr. Freddy Benalcázar  
Hospital José Carrasco Arteaga IESS (Cuenca, Ecuador). [f.benalcazar@yahoo.es](mailto:f.benalcazar@yahoo.es)

Dr. Robert Guzmán  
Universidad de la Frontera,  
Departamento de Ciencias Físicas. [robert.guzman@ufrontera.cl](mailto:robert.guzman@ufrontera.cl) (Chile)

### **DISEÑO**

Centro de Apoyo Diseño Editorial ESPOCH  
William Geovanny Chicaiza Parco. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica (Chimborazo, Ecuador). [williamch693@gmail.com](mailto:williamch693@gmail.com)

# CONTENIDO

|                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| REMOCIÓN DE CROMO VI, MEDIANTE EL USO DE HIDRÓXIDOS DOBLES LAMINARES CON ÓXIDOS MIXTOS (HDL-OM)<br>Érika Murgueitio, William Pilco.....                                              | 4  |
| EL DESAFÍO DEL DISEÑO, LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA EFICIENCIA EN EL CAMBIO DE LA MATRIZ ENERGÉTICA<br>John Martin Evans y Silvia de Schiller.....                                   | 8  |
| MODELO MATEMÁTICO DE UN COLECTOR SOLAR BAJO LAS CONDICIONES FÍSICAS Y METEOROLÓGICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA<br>Y. LLosas, A. Haro, U. Sánchez, M. Audelo .....                     | 15 |
| EFECTO DE PREPARADOS CON LEVADURAS <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> Y LEVICA 25 VIABLES EN LOS METANÓGENOS Y METANOGENÉISIS RUMINAL IN VITRO<br>S. Castañeda, B. Díaz, G. Moreno..... | 25 |
| FIBONACCI Y LA RAZÓN ÁUREA<br>Baldovino Lamirata Carigli .....                                                                                                                       | 32 |
| INSTRUCCIONES A LOS AUTORES.....                                                                                                                                                     | 31 |

# REMOCIÓN DE CROMO VI, MEDIANTE EL USO DE HIDRÓXIDOS DOBLES LAMINARES CON ÓXIDOS MIXTOS (HDL-OM)

Érika Murgueitio<sup>1</sup>, William Pilco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Escuela Politécnica del Ejército; <sup>2</sup>Carrera de Ingeniería en Biotecnología, Escuela Politécnica del Ejército Sangolquí, 02-2339044, esmurgueitio@espe.edu.ec

## Resumen

El cromo es un metal de transición duro, frágil, gris acerado y brillante. Su estado de oxidación más alto es el VI, aunque estos compuestos son muy oxidantes. Los estados de oxidación IV y V son poco frecuentes, mientras que los estados más estables son II y III. El cromo hexavalente del medioambiente suele ser el resultado de aplicaciones como la fabricación de productos químicos, textiles, cuero y pintura para electrodeposición. El cromo (VI) es mayoritariamente tóxico para los organismos; puede alterar el material genético y causar cáncer. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda desde 1958 una concentración máxima de 0,05 mg/litro de cromo (VI) en el agua de consumo. En este contexto, la presente investigación propone el uso de hidróxidos dobles laminares-óxidos mixtos para disminuir la concentración de cromo V<sup>+</sup>, desde aguas contaminadas. Los hidróxidos dobles laminares-óxidos mixtos fueron sintetizados en el Laboratorio de Medio Ambiente de la ESPE, con una relación molar de Al/Mg de 4:1, con anión carbonato como ión intercambiable. Se trabajó con reactivos grado técnico y grado reactivo para abaratar los costos de fabricación de los sorbentes con los que se realizaron pruebas en lotes, utilizando agua sintética con iones competidores y diferentes concentraciones de cromo VI. Se observó que al sintetizarlos con químicos grado técnico, el rendimiento de la síntesis disminuyó en 8% respecto a la síntesis con reactivos grado reactivo. Los resultados obtenidos en el ensayo en lotes indica que de una concentración inicial de 120 ppm se removió un 35%. Los estudios mostraron que la remoción de cromo VI puede atribuirse a complejos de esfera interna mediante reacciones coulombicas y ácido base de Lewis. Se realizaron pruebas de adsorción aplicando los modelos de Langmuir y Freundlich, y este último fue el que presentó los mejores resultados.

**Palabras claves:** hidróxido doble laminar, óxidos mixtos, cromo VI, agua sintética

## Abstract

Chromium is a transition metal hard, brittle, steel-gray and bright. Its oxidation state higher the VI, although these compounds are very oxidising. The oxidation states IV and V are rare, while more stable states are II and III. Hexavalent chromium environment is often the result of applications such as chemical manufacturing, textiles, leather and electrodeposition paint. Chromium (VI) is mainly toxic to the body. This can alter the genetic material and cause cancer. The World Health Organization (WHO) recommended in 1958 a maximum concentration of 0.05 mg / liter of chromium (VI) in drinking water. In this context this research suggests the use of layered double hydroxides-mixed oxides to decrease the concentration of chromium V<sup>+</sup>, from contaminated water. The layered double hydroxides-mixed oxides were synthesized at the Laboratory of Environment of the ESPE, with a molar ratio of Al / Mg ratio of 4:1 with carbonate anion as ion exchangeable Worked with technical grade reagents and reagent grade to lower manufacturing costs of the sorbents with those tested in batches, using synthetic water with competing ions and different concentrations of chromium VI. It was observed that the technical grade chemical synthesize with the yield of the synthesis was de-

creased 8% compared to the synthesis with reagent grade reagents. The results obtained in the batch test indicates that an initial concentration of 120 ppm was removed by 35%. Studies showed that the removal of chromium VI can be attributed to inner-sphere complexes by reactions coulombicas acid and Lewis base. Balance tests were performed using the Langmuir and Freundlich models, with the Freundlich model which presented the best results.

**Keywords:** laminar, double hydroxide mixed oxides, chromium VI, synthetic water

## INTRODUCCIÓN

La contaminación por cromo VI representa un grave peligro ya que ha sido catalogado en la lista A de elementos cancerígenos. En trabajadores, la inhalación de cromo VI ha provocado cáncer de pulmón. De igual manera, la exposición mediante agua potable ha generado un aumento de tumores estomacales (1). Se han reportado los efectos tóxicos del cromo (III) y (VI) en el medioambiente: la presencia de cromo (III) en bajas concentraciones parece ser importante en el metabolismo humano, y el cromo (VI) es tóxico para bacterias, plantas y animales.

El cromo VI es utilizado en la industria de galvanoplastia para el cromado de piezas metálicas. Según el Ministerio del Ambiente (2), se presenta ocasionalmente en sus efluentes. En la industria petrolera está usualmente presente en las descargas de las refinerías, junto a otros metales pesados. Otros usos del cromo incluyen la fabricación de cuero y su tinte, la elaboración de pinturas, etc.

La remoción o separación del cromo (VI) presente en aguas residuales puede realizarse por diferentes procesos: precipitación química, coagulación-floculación, intercambio iónico y adsorción. Entre los métodos de remoción de cromo VI se encuentra la adsorción. Ésta puede llevarse a cabo utilizando el material sintético hidróxidos dobles laminares-óxidos mixtos (HDL-OM), que en estado natural se denomina hidrotalcita. Los HDL son arcillas capaces de intercambiar aniones de su estructura interlaminares. Se ha empleado HDL-OM con químicos grado técnico y reactivo e impregnadas con óxidos de hierro III

para remoción de otros metales pesados, como el arsénico. Se indica que los óxidos de Fe III hidratados pueden remover selectivamente metales pesados y retener sus características intrínsecas de sorción/desorción, redox, ácido-base o magnéticas. Mientras que la hidrotalcita proporciona buena resistencia mecánica, durabilidad y propiedades hidráulicas favorables.

Por lo tanto, en el presente trabajo se planea estudiar la disminución de cromo VI empleando los HDL-OM sintetizados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Reactivos

Se emplearon reactivos grado analítico ACS (American Chemical Society): sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ , 98%, Merck), sulfato de aluminio octadecahidratado ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ , 98%, Sigma Aldrich), hidróxido de sodio (NaOH, 98%, Merck), carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 98%), dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 98%), cloruro de sodio (NaCl, 98%, Merck) y bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ , 98%, Panreac). Los químicos grado técnico empleados fueron: sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ , 98%), sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , 19%), hidróxido de sodio (NaOH, 98%) y carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 98%).

### Síntesis de hidróxidos dobles laminares-óxidos mixtos (HDL-OM)

El método de síntesis se basó en la técnica de coprecipitación de soluciones acuosas a pH constante. Los químicos empleados fueron de grado ACS y técnico. El HDL elaborado tuvo la relación molar Al/Mg 4:1. En la síntesis se empleó dos soluciones: una de sulfato de magnesio y sulfato de aluminio, y otra solución de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e hidróxido de sodio (NaOH). Ambas soluciones se vertieron simultáneamente sobre un lecho de 50 ml de agua destilada para ambos tipos de químicos. La mezcla se mantuvo bajo vigorosa agitación a un pH entre 8-9,5. Posteriormente se centrifugó y lavó, para luego secar. Finalmente se calcinó los precipitados a 500 °C por 2 horas.

### Elaboración del agua sintética

Se preparó adicionando en agua destilada concentraciones diferentes de cromo VI empleando dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) y concentraciones de iones competidores de 80 mg/L de ión bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), 120 mg/L de ión sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) y 100 mg/L de ión cloruro ( $Cl^-$ ).

### Ensayo en lote

Se realizó un ensayo en lote a fin de determinar el efecto de la concentración inicial de cromo VI sobre la eficiencia de remoción del HDL-OM. Se colocó 0,25g de HDL grado ACS sintetizado con 250 mL de agua sintética. Las concentraciones del agua sintética fueron de 1 mg/L, 10 mg/L y 120 mg/L de cromo VI. El pH de la solución fue de 7-8 y se agitó a 1000 rpm por 60 min. Se tomó alícuotas de 5 mL de las soluciones iniciales y finales para analizarlas en el equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer AA 200 a 425,44 nm. El ensayo tuvo tres repeticiones para cada concentración de cromo VI. El porcentaje de remoción está determinado por la siguiente ecuación:

$$q(\%) = \frac{C_0V_0 - C_fV_f}{m} * 100 \quad (1)$$

Donde  $q(\%)$  es el porcentaje de remoción,  $C_0$  concentración inicial,  $V_0$  volumen inicial,  $C_f$  concentración final,  $V_f$  volumen final. Los datos recolectados se procesaron estadísticamente en el software InfoStat versión libre, mediante la prueba de Fisher.

### Isoterma de adsorción

Para interpretar un posible mecanismo de adsorción se analizó el ajuste al modelo de isotermas de Langmuir y Freundlich. Se obtuvo la cantidad de cromo VI adsorbido por el HDL en equilibrio ( $q_e$ ) mediante la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{C_0V_0 - C_eV_e}{m} * 100 \quad (2)$$

Donde  $q_e$  es la masa de cromo VI retenida en el HDL-OM,  $C_0$  es la concentración inicial de Cromo VI,  $C_e$  es la concentración en equilibrio,  $V_0$  el volumen inicial,  $V_e$  el volumen en equilibrio, y  $m$  la masa de sorbente. Los datos obtenidos fueron empleados en una ecuación linealizada de Langmuir a través de la gráfica  $C_e/q_e$  vs  $C_e$ :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x}} C_e + \frac{1}{q_{m\acute{a}x} k_L} \quad (3)$$

donde  $q_{m\acute{a}x}$  es la retención máxima de cromo VI en el HDL ( $mg \cdot g^{-1}$ ) y  $k_L$  es la constante de Langmuir ( $L \cdot mg^{-1}$ ). De igual modo, se ajustó los datos en la ecuación linealizada de Freundlich:

$$\ln q_e = \frac{1}{n} \ln C_e + \ln k_F \quad (4)$$

Donde  $k_F$  es la constante de Freundlich ( $mg \cdot g^{-1}$ ),  $q_e$  masa contaminante adsorbido g/ unidad de peso del adsorbent,  $k_F$  constante de partición,  $C_e$  concentración del soluto en equilibrio.

### Análisis químico

Las alícuotas tomadas para la cuantificación de cromo VI fueron analizadas en el espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 200. Se utilizó gas acetileno como combustible (flujo 3,3 L/min) y aire como oxidante (flujo 10 L/min). En el equipo se empleó una lámpara de cátodo hueco para detección de cromo a una longitud de onda de 425,44 nm.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento de la síntesis de hidróxidos dobles laminares (HDL)

El rendimiento de la síntesis de HDL-OM con químicos de grado técnico es del 18% en peso; así, con 700 g de químicos se obtuvo 128 g de HDL. En el caso de la síntesis con químicos grado ACS, se incrementa el rendimiento a 26% en peso, debido a la reducción de impurezas. La mayor pérdida de peso se da en los procesos de lavado y secado, donde se elimina mayormente agua. Por otra parte, el costo de los químicos grado técnico es 90% menor al costo de los químicos grado ACS.

### Ensayo en lote

Del ensayo en lote se estableció que el porcentaje de remoción de cromo VI no depende de la concentración inicial ( $p > \alpha$ ;  $p=0,88$ ;  $\alpha=0,05$ ), es decir, los porcentajes de remoción son estadística-



mente iguales a cualquier concentración inicial (tabla 1).

| Concentración inicial de cromo VI (mg/L) | q(%) (mg Cr VI / g HDL) |
|------------------------------------------|-------------------------|
| 1                                        | 13,17                   |
| 10                                       | 17,17                   |
| 120                                      | 20,34                   |

Tabla N.º 1. Porcentaje de remoción q(%) a diferentes concentraciones iniciales después de 60 minutos

### Isotermas de adsorción

La capacidad de adsorción se modeló mejor con la isoterma de Freundlich ( $r^2=0,983$ ), cuyo valor n indica una adsorción beneficiosa ya que se encuentra entre 1 y 10 (3). En la tabla 2 se muestran los valores para n y kf de la ecuación.

| Ecuación               | $r^2$  | kf   | n |
|------------------------|--------|------|---|
| $y = 1,0025x - 1,1337$ | 0,9838 | 0,29 | 1 |

Tabla N.º 2. Valores para la ecuación de Freundlich

El ajuste al modelo de Freundlich indica que la adsorción de cromo VI es heterogénea y que no necesariamente sigue una monocapa (figura 1).

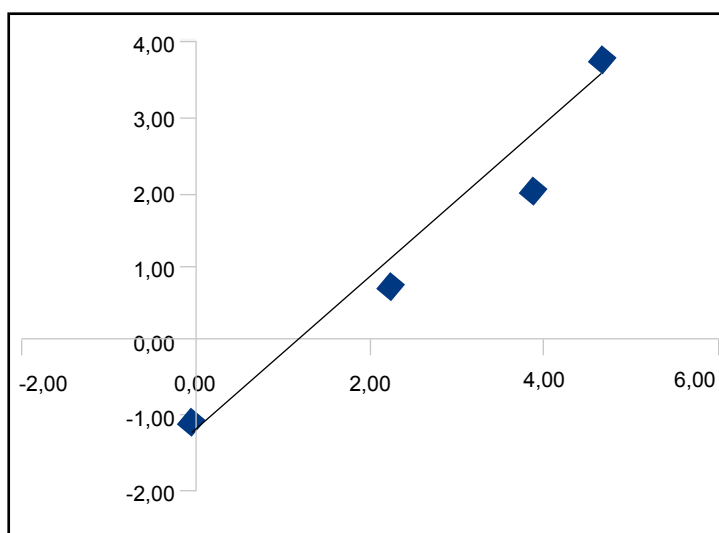


Figura N.º 1. Gráfica de Freundlich linealizada

### CONCLUSIONES

Se obtiene similares rendimientos de síntesis de HDL-OM con químicos grado técnico y ACS. Además, el bajo costo de los químicos grado técnico favorece la síntesis con este tipo de químicos sin disminuir considerablemente su rendimiento. El hidróxido doble laminar (HDL)-OM sintetizado remueve cromo VI hasta en un 35% en equilibrio a una concentración de 120 mg/L con iones competidores. La remoción decrece después de 1 hora de agitación. La remoción se ajusta al isoterma de Freundlich.

### Referencias

1. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). *Reseña Toxicológica del Cromo*. Atlanta, EEUU; 2008.
2. Ministerio del Ambiente. 2006. "Información de plomo y cadmio en el Ecuador". Quito, Ecuador.
3. Gutiérrez N, Ramos E, Contreras C y Olguín M. (2009). Removal of chromium (VI) from aqueous solutions by hydrotalcite-like compounds: kinetic and equilibrium studies. México.

### Bibliografía complementaria

1. Herrejón M, Limón B y Martínez V. "Cinética y adsorción del Plomo (II) en el suelo de monterrey". México; 2008.
2. Spinelli, V, Laranjeira M, Fávere V y Kimura I. "Cinética e Equilíbrio de Adsorção dos Oxiânions Cr (VI), Mo (VI) e Se (VI) pelo Sal de Amônio Quaternário de Quitosana". Brasil; 2005.
3. Cumbal L. Desarrollo de una tecnología para la recuperación de la laguna de Papallacta contaminada on metales pesados usando materiales sorbentes emergentes. Reporte técnico. Sangolquí: CEINCI; 2008.
4. Owlad M, Kheireddine M, Daud W A y Baroutian S. "Removal of Hexavalent Chromium-Contaminated Water and Wastewater: A Review". 10 de octubre; 2008.
5. Miyata S. Anion-exchange properties of hydrotalcite-like compounds. Japón; 1983.

# EL DESAFÍO DEL DISEÑO, LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA EFICIENCIA EN EL CAMBIO DE LA MATRIZ ENERGÉTICA

John Martin Evans, Silvia de Schiller

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Secretaría de Investigaciones.  
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires  
Ciudad Universitaria, Pabellón 3, Piso 4, C1428BFA, Buenos Aires, Argentina.  
Tel. (+ 54 11) 4789-6274. E-mail: evansjmartin@gmail.com / sdeschiller@gmail.

## R esumen

El presente trabajo destaca la creciente necesidad de lograr eficiencia energética y el uso de los sistemas solares en el hábitat construido, enfatizando la adecuada integración de tecnologías para generar energía de fuentes renovables de uso doméstico. Los edificios del sector público, especialmente para salud y educación, pueden ser portadores y difusores de la aplicación de energía solar en arquitectura y programas de eficiencia energética, tomando en consideración que el sector edilicio, requiere una tercera parte de la demanda total de energía en países de la región. Resulta importante considerar la transferencia de conocimientos a profesionales y capacitación de la población, a fin de lograr la transformación del comportamiento social ante nuevos valores del uso de energía y la incorporación de las renovables en el futuro inmediato. Es imprescindible, la modificación de la matriz energética, que permita reducir la dependencia en combustibles fósiles no renovables, satisfaciendo la demanda en climas templados y fríos con energía solar y con otras estrategias de diseño bioclimático en climas cálidos, logrando sustentabilidad energética con bajo impacto ambiental. Se muestra la importancia del sector y el potencial para lograr estrategias de eficiencia energética en edificios, y así obtener beneficios económicos, ambientales y consecuentemente mejor calidad de vida.

**Palabras claves:** energías renovables, hábitat construido, eficiencia energética, matriz energética

## A bstract

The current work highlights the increasing need of achieving energy efficiency and effective integration of solar technologies into buildings, focusing on the need of achieving appropriate integration of the technologies to provide hot water and generate renewable energy for household purposes, particularly social housing. Public sector buildings, particularly those dedicated to health and education, such as schools, universities, museums, libraries, hospitals and medical care buildings, can be carriers and can broadcast both energy efficiency programs and solar energy applications on architecture. It is vital to give priority to the knowledge transfer within professionals, as well as training the population in order to involve the users in the transformation of the social behavior, due to the change in energy consumption and the incorporation of renewable energy in the short-term.

Within this framework, the need of altering the energy matrix must be emphasized, by means of decreasing the dependence on non-renewable fossil fuels. The energy demand from the construction industry has a great influence on this change, because this sector requires one-third of energy demand in the whole country. It is shown the importance of the sector and the potential for achieving a significant reduction by using energy efficiency strategies on buildings and renewable energies, particularly solar energy. This combination will allow to achieve significant economic, social and environmental benefits, for both mild and cold climates. A decrease of demand for cold climates can be obtained by

using solar energy to heat water and provide heating, whereas bioclimatic design strategies can be implemented for mild climates. As an example, we show the development of the Interdisciplinary Master's Degree in Energy, which started in 2011 at Buenos Aires University, within the framework of energy efficiency with low environmental impact, increasing social participation and better quality of life.

**Keywords:** renewable energy, built environment, energy efficiency, energy matrix

## INTRODUCCIÓN

A nivel global, se evidencia una excesiva dependencia de energías fósiles, no renovables y contaminantes, las cuales alcanzan el 81% de la demanda mundial de energía(1). Los países de Latinoamérica también siguen esta tendencia, con 89% de dependencia en Argentina, 73% en Venezuela y 77% en Ecuador. Aún en Brasil, ya contando con un importante aporte de energías renovables como hidroelectricidad, biomasa y biocombustibles, la dependencia llega al 50%. Este alto grado de dependencia no resulta sustentable a mediano y largo plazo, y representa una fuente de potencial inestabilidad económica, social y ambiental para la región.

En este sentido, se ha estimado relevante considerar también el impacto de la demanda de energía y la oferta de distintos recursos energéticos. La matriz energética de Argentina, como en otros países de la región, es resultado de este balance entre oferta y demanda, de modo que la oferta no es resultado de la demanda, sino que ambas son variables interdependientes, por lo tanto, al introducir medidas de eficiencia, se reduce la demanda y disminuye también el aporte de energía, mientras que una disponibilidad abundante de ésta a precios accesibles contribuye a aumentar la demanda. Esta consideración, es vital en el campo del uso de energía en el hábitat construido, sector que presenta una importante demanda, gran potencial para reducirla mediante el diseño edilicio y medidas de eficiencia, y con significativas oportunidades de incorporar eficazmente las energías renovables.

En la región, los edificios son responsables de una importante proporción de la demanda total de energía, aunque la mayoría de la población no obtiene adecuados niveles de confort térmico y habitabilidad, dada la combinación del costo elevado de energía para calefacción o refrigeración y el deficiente diseño de edificios, que no ofrecen la posibilidad de lograr confort a costos accesibles.

La vivienda es, en este escenario, el principal usuario de energía, seguido por los edificios de uso comercial (oficinas y comercios) y, finalmente, los edificios públicos y de otros usos. Según el censo de 2010, en Argentina el 16% de las viviendas presentan características constructivas deficientes, situación que dificulta el logro de condiciones ambientales dignas en sus interiores. A medida que crecen las expectativas, aumenta el poder adquisitivo de la población y la ampliación de redes de distribución mejora el acceso a las fuentes de energía, la demanda de energética de fuentes fósiles puede aumentar de forma muy significativa.

En ese contexto, resulta importante considerar que el hábitat construido presenta las siguientes características particulares(2):

- La demanda de edificios residenciales, comerciales y públicos representa más de una tercera parte de la demanda total de energía en la mayoría de los países, tanto desarrollados e industrializados, como en desarrollo o de economías emergentes.
- La demanda es muy variable, debido a las importantes variaciones horarias y estacionales, de modo que, tanto la capacidad de generación como las redes de distribución de energía, deben dimensionarse para satisfacer esta variación.
- Gran parte de esa demanda se destina al acondicionamiento térmico de edificios: calefacción, refrigeración y ventilación, a lo cual se agrega el acondicionamiento lumínico, luz artificial.
- La demanda de acondicionamiento ambiental depende en gran parte del diseño de los edificios, considerando que presenta una importante y directa relación con la morfología edilicia, la orientación de fachadas y aberturas, el diseño de envolventes y tamaño de su-

perfiles vidriadas, la selección de materiales, tipo de vidrios y colores exteriores, así como del diseño de los espacios exteriores y el uso de la vegetación.

- Los edificios tienen una larga vida útil si se los compara con el sector industrial y de transporte. Se conserva la mayoría de los edificios durante 50 años o más, mientras la vida útil promedio de los vehículos es solamente 10 años, excediendo rara vez los 20 años. La vida útil de maquinarias industriales es similar o menor.
- Mientras la eficiencia energética es preocupación de la fabricación automotriz y de las ingenierías responsables del diseño e instalaciones de plantas industriales, la eficiencia en el uso de energía en edificios no goza de alta prioridad en su diseño.

A su vez, la planificación urbana y regional también influye en la demanda de energía para el sector transporte. La promoción de transporte público, bicicletas y viajes a pie, con menores impactos por pasajero-kilómetro, requiere densidades apropiadas y designaciones de uso de suelo que faciliten la relación trabajo-residencia-abastecimiento-esparcimiento.

Las características del sector edilicio explican la importante demanda con baja eficiencia en el uso de los recursos no renovables, y el gran potencial de reducir la demanda sin afectar la calidad de vida de los ocupantes. Esta reducción en la demanda, obtenida con medidas de eficiencia, es posible mediante tres factores principales:

- **Instalaciones eficientes** con lámparas de bajo consumo, así como calderas, calefactores y sistemas de refrigeración eficientes.
- **Manejo eficiente de las instalaciones** por parte de los usuarios, con el empleo efectivo de los electrodomésticos, equipos y luces sin uso y ajustando o regulando los termostatos para evitar desperdicios, mal uso y derroche.
- **Diseño eficiente de los edificios** con formas, diseño de envolventes y aberturas y características térmicas de muros y techos que permitan optimizar el acondicionamiento térmico natural y la iluminación natural.

Por lo anterior, el diseño apropiado de edificios es sin duda la medida que logra la mayor disminución del consumo, con mayor beneficio para los ocupantes y a menor costo, siempre que se incorporen medidas de eficiencia energética en las etapas de proyecto y construcción. La modificación y mejora de edificios existentes, ya se trate

de acciones a incorporar en la etapa de uso o de operación, resultan más complejas y costosas.

### **Energías renovables y eficiencia en edificios**

La eficiencia energética en el diseño y construcción de edificios constituye el factor fundamental para la aplicación de energías renovables distribuidas. En este trabajo se enfatiza el gran potencial que presentan los sistemas de energías renovables integradas en arquitectura, tales como sistemas solares con colectores para el calentamiento de agua, sistemas solares pasivos para calefacción en climas fríos y, eventualmente, el uso de paneles fotovoltaicos en edificios.

El uso de los distintos sistemas de energías renovables no debe ser considerado como el reemplazo de combustibles fósiles por energía solar y eólica. Primeramente, es importante reducir la demanda de energía a través de medidas de eficiencia, y solo con una demanda controlada se puede aportar una proporción significativa de la demanda remanente con energías renovables.

El Desafío 2030(3), desarrollado en Estados Unidos y Canadá, es un ejemplo de este enfoque donde se propone una reducción progresiva de la demanda de energía en edificios, combinada con un aumento en el aporte de las energías renovables a fin de lograr, para el año 2030, “edificios neutrales” en sus emisiones de carbono.

De esta forma, las emisiones anuales netas de gases efecto invernadero (GEI) resultan equivalentes a cero, es decir, que son iguales a la absorción de gases de la atmósfera. En una primera etapa, se pueden incorporar energías renovables para el calentamiento de agua.

Según las experiencias en climas templados de Argentina, los colectores planos pueden aportar más del 66% de la demanda de energía para calentar agua, con 4 a 6 meses sin necesidad de calor auxiliar. La leña, u otro combustible

renovable, puede aportar la demanda restante, especialmente con el uso de artefactos eficientes y grifería de bajo caudal. Sin embargo, el uso de energía solar para calefacción es la medida de mayor impacto debido a la gran demanda para desarrollar este “servicio energético”. En climas templados y fríos, los sistemas solares pasivos pueden aportar entre un 30% y un 50% de la demanda requerida para este rubro, siempre que sea controlada por la aplicación de medidas de eficiencia energética.

### Estrategias bioclimáticas y diseño

Las medidas antes mencionadas se corresponden de manera directa con las estrategias de diseño que actúan complementaria e integralmente en el desarrollo de proyectos y en la puesta en obra de los procesos constructivos, tales como:

- **Forma edilicia y compacidad de la envolvente**, particularmente importante en climas fríos, a fin de minimizar la superficie de la envolvente en contacto con el exterior. Sin embargo, en climas cálidos y húmedos, es necesario compatibilizar este requisito con las estrategias de diseño, principalmente en verano, a fin de lograr ventilación natural con formas edilicias abiertas y el uso directo de los espacios exteriores.
- **Integración de adecuadas capas de aislantes térmicos** en la envolvente edilicia a fin de minimizar las pérdidas de calor y lograr confort con menor demanda de energía. Este requisito puede implicar un cambio importante en la tecnología de la construcción, dado que muchos de los elementos constructivos convencionales no ofrecen buenos niveles de aislación térmica. Los materiales aislantes livianos en capas de 50 mm a 100 mm de espesor, permiten lograr muy baja transmitancia térmica, reduciendo las pérdidas de calor a solo 20% respecto a las construcciones convencionales.

- **Incorporación de materiales con elevada capacidad térmica** en el interior del edificio, como piedra, ladrillos macizos, hormigón denso, revoques y terminaciones cerámicas; ya que ello permite absorber y almacenar calor de la energía solar y otras fuentes durante el día, evitando excesivos aumentos de la temperatura interior y restituir calor al interior durante la noche, manteniendo así temperaturas nocturnas confortables.
- **Captación y control de energía solar** mediante superficies captadoras, principalmente ventanas orientadas para captar la radiación solar favorable, y aleros fijos o protecciones ajustables para reducir el ingreso de sol en periodos de calor o confort. Las superficies de captación, seleccionadas por las características climáticas, la geometría solar según latitud y las posibilidades de integración arquitectónica pueden incluir galerías vidriadas, patios techados con vidrio, invernaderos y muros acumuladores, también conocidos como “muro Trombe-Michel”.

### Latitud y diseño

**En latitudes mayores a 23° N y S**, la orientación más favorable es exactamente hacia el Ecuador, es decir, al norte en el hemisferio sur y al sur en el hemisferio norte. La variación de orientación puede llegar a 30° sin disminuciones significativas, aunque la orientación en planta inclinada hacia el oeste puede captar excesiva radiación estival en regiones con veranos calurosos. A medida que la latitud aumenta, la altura del sol disminuye y se necesita mayor distancia entre edificios y limitaciones en las alturas de éstos, para asegurar un mínimo de 6 horas de sol sobre las superficies receptoras. Estos requisitos de carácter geométrico condicionan las densidades de zonas urbanas donde se planifique el aprovechamiento de la energía solar en el hábitat construido.

**En bajas latitudes**, comprendidas entre los trópicos (de ~23° N a ~23° S), con elevado ángulo de altura del sol al mediodía, las superficies de captación más efectivas son las fachadas este y oeste, y las cubiertas planas o de escasa pendiente; aunque los lucernarios o claraboyas en el techo pueden sufrir excesiva radiación durante el día y pérdidas de calor por convección ascendente a la noche. Sin embargo, en climas fríos y de altura, la captación solar en patios techados con vidrio puede ofrecer adecuadas condiciones de confort en los locales adyacentes, si actúa combinadamente con sistemas de ventilación y uso de materiales densos de gran capacidad térmica para evitar sobrecalentamiento. Alternativamente, algunos sistemas activos, con un mínimo de energía auxiliar, pueden trans-

ferir el calor de los colectores en el techo hacia zonas de almacenamiento en el piso con aire caliente mediante ventiladores o agua caliente con bombas.

### **Clima y diseño**

**En climas cálidos**, donde la demanda de calefacción es muy reducida o inexistente, otros recursos de diseño son necesarios para lograr confort sin demanda de energías convencionales o con muy bajas demandas<sup>4</sup>. En estos climas, donde las condiciones son relativamente confortables o cálidas, se requiere adoptar los siguientes recursos de diseño:

- **Protección solar**, especialmente en las fachadas este y oeste.
- **Control de ganancias internas**, especialmente las producidas por artefactos eléctricos, lámparas y electrodomésticos energéticamente eficientes.
- **Aprovechamiento y control de espacios exteriores** en periodos del año y horas del día cuando estos espacios presentan condiciones de confort y características variables de sol y sombra, que pueden extender el uso de los espacios habitables en el exterior y en espacios intermedios.
- **Adecuada iluminación natural** para reducir el uso de iluminación artificial.
- **Adecuada ventilación natural** para reducir el uso de ventilación artificial.

En este panorama, es relevante atender los recursos de diseño según las condiciones climáticas.

**En climas cálidos y húmedos**, típicos de zonas ecuatoriales de baja altura sobre el nivel del mar, el movimiento de aire permite mejorar significativamente la sensación de confort y bienestar:

- La ventilación cruzada, lograda con ventanas en fachadas opuestas y plantas poco profundas, permite promover corrientes de aire sensibles a nivel de las personas.
- Los ventiladores de techo también son aconsejables para lograr confort con mínimo uso de energía, complementando la ventilación cruzada en momentos de calma y requiriendo adecuadas alturas piso-techo.
- Vegetación y sombra en espacios exteriores, con galerías, pórticos y patios, ofrecen espacios abiertos o intermedios con condiciones ambientales favorables, brindando sombra y protección de las lluvias frecuentes.
- Espacios entre edificios, con dimensiones y proporciones adecuadas, para permitir el movimiento de aire

y la proyección de sombra en sectores urbanos.

- Techos de color claro y con adecuados espesores de capas aislantes para reducir la transmisión de calor de las superficies exteriores expuestas al sol, hacia el ambiente interior.

**En climas cálidos y secos**, normalmente a latitudes más alejadas del Ecuador, los recursos de diseño difieren de los anteriores, adecuados para esos climas, por ejemplo:

- **Muros que incorporan gran capacidad térmica**, para reducir y demorar la transmisión del paso de calor en estos climas de gran amplitud térmica.
- **Ventanas de tamaño controlado** para reducir el ingreso excesivo de luz, facilitar la protección solar y evitar el ingreso de aire caliente durante el día.
- **Techos de color claro** con buena aislación térmica.
- **Patios con espacios controlados** y espacios exteriores que ofrecen lugares con condiciones ambientales favorables, protegidos de los vientos cálidos con polvo, con sombra parcial y posibilidades de humidificación con vegetación.

Aún en **climas extremos**, donde es muy difícil lograr confort con acondicionamiento natural, sin instalaciones termo-mecánicas, los recursos de diseño bioclimático pueden reducir efectivamente el período de uso de refrigeración y refrescamiento artificial, y minimizar consecuentemente la demanda de energía.

En la gran mayoría de los casos, el buen diseño (o diseño adecuado y responsable con el ambiente) puede eliminar la necesidad de estas instalaciones, obteniendo significativos beneficios económicos, sociales y ambientales, particularmente relevantes en el marco del desarrollo sustentable.

La adopción de estas medidas permitiría reducir en forma significativa la demanda de energía requerida para diversas funciones de acondicionamiento eficiente de los edificios, con el consiguiente ahorro de energía, minimización de la dependencia energética y el impacto del sector al ambiente, contribuyendo así a modificar la matriz energética.

### **Desafío**

La integración de sistemas de energías renovables en arquitectura, en combinación con medidas de eficiencia energética, representa un gran desafío y una gran oportunidad. Con diseños adecuados y las tecnologías disponibles actualmente, es posible reducir hasta un 50% de la energía convencional utilizada en edificios residenciales para su acondicionamiento térmico y nivel de habitabilidad y bienestar. En esta estimación no se ha contemplado todavía el uso de instalaciones de paneles fotovoltaicos, tecnología importada de alto costo.

Sin embargo, se considera necesario preparar la producción del sector edilicio, basada particular y específicamente en el fundamento y la implementación de estos requisitos en el diseño de edificios a construir en los próximos años, favoreciendo la integración de tecnología fotovoltaica en el futuro cercano, cuando los costos resulten más accesibles para la mayoría de la población y para las distintas aplicaciones, según se desarrollen innovadoras políticas de gobierno en los países de la región latinoamericana.

El desafío principal en este contexto radica fundamentalmente en modificar la práctica convencional de proyectar y construir edificios, con el propósito de producir inmuebles de muy baja demanda de energía y alta calidad ambiental. Todas las decisiones de diseño deben y pueden considerar el impacto energético, y asegurar la factibilidad de aprovechar todas las oportunidades que contribuyan

a captar, proteger y manejar las energías naturales en el proyecto en sus diversas escalas. A diferencia del pasado, cuando la evolución y el mejoramiento de la construcción eran resultado de un lento proceso de prueba y error, ahora es posible acelerar el proceso de innovación sin los riesgos del pasado.

### **CONCLUSIONES**

El sector edilicio ofrece una valiosa oportunidad de reducir la demanda de energía, especialmente la proveniente de fuentes fósiles, y minimizar así los impactos ambientales. Hoy se cuenta con importantes herramientas para guiar las decisiones de los proyectos. Los programas de computación y simulación numérica permiten predecir el comportamiento y el desempeño del sol, la luz y el viento en proyectos de arquitectura y urbanismo, pudiendo diagnosticar la demanda de energía requerida para acondicionamiento térmico y estimar las temperaturas interiores en edificios sin acondicionamiento artificial. En este desafío, es importante tener en cuenta los condicionantes que presentan la geometría solar y las condiciones ambientales, sociales y económicas en la producción edilicia, junto a los requisitos climáticos específicos de la gran variedad de zonas que presenta la región. Las normativas constructivas y los códigos de desarrollo urbano; la formulación de programas de vivienda, y la demostración ejemplificadora de adoptar medidas de ahorro y eficiencia en edificios públicos, particularmente los destinados a educación y salud, e incorporar al sector privado en esta innovación, plantean la necesidad de integrar distintas líneas de acción en la transformación del hábitat construido en el marco del desarrollo sustentable.

### **AGRADECIMIENTOS**

El presente artículo responde a los trabajos llevados a cabo en el marco del Proyecto de Investigación UBACyT código 20020100100598: "Sustentabilidad en el hábitat construido: la contribución de la eficiencia energética y el uso de energías renovables en la transformación de la matriz energética", programación 2011-2014, con la dirección de los autores y la participación del equipo de docentes e investigadores del CIHE, Mgr. Arq. Claudio Delbene, Espec. Arq. Gabriela Casabianca, Dr. Arq. Daniel Kozak, Doctorandos Arqtos. Javier Sartorio y Susana Muhlmann, y Arqtos. Ana María Compagnoni, Jorge Marusic, María Verónica Snoj, Julian Evans, Juan Carlos Patrone, Mariano Cabezón y Juan Ignacio Lolago.

## **R** referencias

1. EIA. 2011. World Energy Outlook. U. S. Washington DC: Energy Information Administration.
2. Evans JM & De Schiller S. 1996. Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar. Buenos Aires: EU-DEBA.
3. Architecture 2030. 2010. 2030 Implementation Guidelines, A Resource for Firms and Organizations adopting the 2030 Challenge. Disponible en <http://architecture2030.org/files/2030ImplementationGuidelines.pdf>
4. Evans J. 2010. Sustentabilidad en Arquitectura. Buenos Aires: Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo (CPAU).



# MODELO MATEMÁTICO DE UN COLECTOR SOLAR BAJO LAS CONDICIONES FÍSICAS Y METEOROLÓGICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

Y. Llosas<sup>1</sup>, A. Haro<sup>1,2</sup>, U. Sánchez<sup>3</sup>, M. Audelo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Oriente, <sup>2</sup>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Chimborazo

## R esumen

Presentamos el diseño de un modelo matemático de colector solar bajo condiciones físicas y meteorológicas típicas de la ciudad de Riobamba, para uso en secadores solares de convección natural o forzada, el cual se adapta a las condiciones particulares de altitud respecto al nivel del mar, la posición geográfica y las condiciones meteorológicas. El colector solar diseñado es un colector indirecto de convección natural que usa cálculos termodinámicos y de transferencia de calor basados en variables meteorológicas como velocidad del viento, irradiación solar, flujos térmicos, latitud, humedad y temperatura del aire de la zona; mediante la utilización de un colector solar de placa plana, tomando en cuenta el calor absorbido, el calor útil y las pérdidas en las partes superior e inferior del colector solar. Para ello, se emplea las ecuaciones de transferencia de calor y se realiza el balance de energía que permite simular el comportamiento del aire dentro del colector; se ejecuta el cálculo teórico de la eficiencia del colector solar, determinándose el área de captación óptima y el área de paso (flujo de aire), con lo cual se puede optimizar las dimensiones para el colector (largo, ancho y alto).

**Palabras claves:** colector, modelo, Riobamba, eficiencia, parámetros meteorológicos

## A bstract

We present the design of a mathematical model of solar collector in physical and meteorological conditions typical of the Riobamba, which is adapted to the conditions of altitude above sea level, geographic location and weather conditions. Collector Solar is an indirect dryer for natural convection using thermodynamic and heat transfer based on meteorological variables as wind speed, solar radiation, heat flux, latitude, humidity and air temperature in the zone. It is using a flat plate solar collector, taking into account the heat absorbed, the useful heat, and losses in the top and bottom of the solar collector, which is used for the heat transfer equation and is performed energy balance to simulate the behavior of air inside the collector, We do the theoretical calculation of the efficiency of solar collector, determining the optimum catchment area and the area of step (air flow), which can be optimized for the collector dimensions (length, width and height).

**Keywords:** manifold, model, Riobamba, efficiency, meteorological parameters

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, del 10% al 40% de los productos cosechados nunca llegan al consumidor. Este comportamiento se presenta principalmente en los países en vías de desarrollo debido a la descom-

posición y la contaminación del producto. Existe una diversa gama de tecnologías poscosecha aplicadas a la preservación de los alimentos perecederos. Sin embargo, y siendo uno de los más antiguos, el método de secado es uno de los más prácticos pues extiende la vida útil del producto y garantiza las propiedades físicas, químicas y nutricionales de los alimentos.

El secado es un proceso de alto costo, que representa entre el 35% y 40% del costo total de producción. Entre los procesos de secado que se aplican en la actualidad se encuentran los métodos industriales, el secado solar y la combinación de ambos como una manera de reducir el consumo de energía y mejorar la calidad del producto. Como los colectores industriales no están al alcance de la mayoría de los pequeños agricultores, el empleo de energías alternativas renovables, de bajo costo y no contaminantes incrementa la viabilidad económica del proceso, al reducir sus costos de aplicación.

Los colectores solares son una alternativa para el secado en los países en desarrollo, donde el secado al aire libre es el método de conservación más utilizado por los pequeños agricultores. Teniendo en cuenta que un alto porcentaje de estos agricultores no tienen acceso a la red eléctrica, y que el uso de energías mediante combustibles fósiles no ha sido factible debido a los costos, una alternativa eficaz de secado de sus productos es el uso de energías renovables.

Varios tipos de colectores solares se han desarrollado y evaluado teniendo en cuenta su implementación en las regiones tropicales y subtropicales. Existen factores económicos, sociales, medioambientales y culturales que son relevantes dentro del diseño de las tecnologías de secado. Para los productores agrícolas de pequeña escala, solamente son significativas las actividades e inversiones que aumentan considerablemente sus ingresos, bien sea al reducir directamente los costos o al aumentar la productividad.

El diseño de colectores solares no es nuevo a latitudes medias; sin embargo, en nuestro caso no existe un modelo adaptado a las condiciones meteorológicas y físicas típicas de la ciudad de Riobamba, para que pueda ser usado en la construcción y el diseño de secadores solares, debido por un lado a la situación geográfica particular que presenta la ciudad y, por otro, a la complejidad de la dinámica superficial que depende de factores locales y cuya teoría en su mayor parte se ha desarrollado en otras latitudes. Además, hay que ser claros en que la falta de investigación básica en áreas de la matemática o la física no ha permitido que se desarrollen este tipo de investigaciones; las limitaciones de desarrollo tecnológico y económico han sido otra causa para que esto no suceda; y, lo que es más, de alguna manera la abundancia de recursos naturales en el país no ha permitido que se desarrollen en general las energías alternativas.

Se han planteado diversos modelos matemáticos descriptivos del proceso de secado de productos agrícolas en colectores solares como una forma de mejorar su opera-

ción. Sin embargo, estos no se aproximan al comportamiento real del colector solar porque simplifican los fenómenos gobernantes del proceso y no tienen en cuenta variables determinantes para un análisis más preciso. El presente trabajo tiene por objeto formular una modelación matemática versátil (que se programó en Mathcad y Matlab) capaz de analizar la transferencia simultánea de movimiento, calor y masa que ocurre en un colector solar.

## **OBJETIVO**

Diseñar un modelo matemático de un colector solar que funcione bajo las condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobamba.

## **DISEÑO DE COLECTOR SOLAR**

El diseño, como tema, ha jugado un papel determinante en la ciencia y la técnica. La reducción de los recursos energéticos en los últimos 20 años y el incremento de la contaminación ambiental han incentivado la creación de diseños más eficientes en el campo de las energías renovables.

Aunque la práctica del secado con energía solar es muy antigua, los primeros trabajos, fundamentalmente de carácter práctico, se reportan desde 1940. El desarrollo teórico y experimental del tema se observa a partir de 1960, donde además se aprecia el avance en el diseño de los colectores solares.

En el proyecto de energías alternativas de la ESPOCH (2008) se han desarrollado algunos diseños, con la finalidad de secar frutas; sin embargo, no han tenido un sustento teórico lo suficientemente sólido, ni tampoco se ha verificado su eficiencia en forma rigurosa. Además, en ese proyecto se han estudiado diferentes tipos de energías alternativas y se ha creado una base de datos meteorológicos muy útiles para tal fin (2006).

También, en países como Perú se han

realizado trabajos importantes en este sentido, como el caso de “Calculation and construction of a solar dryer by natural convection for drying of non-traditional medicinal plants”, el cual presenta el diseño, el cálculo y la construcción de un colector solar indirecto por convección natural para el secado de plantas medicinales aromáticas no tradicionales; o el “Diseño y evaluación de un colector solar para secado industrial de tomate”, en el mismo sentido (2003). Además, se pueden tomar como referencia otros trabajos como el de “Construcción de un colector solar de frutas y verduras: una experiencia ciudadana”, de México (2009), o “Aplicación de la energía solar al secado de chile jalapeño” (2005), en Chile, donde se comercializa ampliamente este tipo de productos, entre otros. Para diseñar colectores solares se han empleado métodos analíticos y numéricos, que requieren metodologías complejas y extensas que deben ser utilizadas por personal de alta calificación. La aplicación de métodos gráficos simplifica el estudio y le proporciona dinamismo y carácter práctico; sin embargo, limita la reproducción y el ajuste en otras condiciones diferentes, dificultando de esta manera la aplicación del modelo. El Ecuador, por su particular posición geográfica y por ser una zona de convergencia de corrientes marinas y aéreas, se caracteriza por tener condiciones meteorológicas particulares; y si a eso se añade su relieve, se tiene que las condiciones físicas del suelo producen una serie de microclimas con condiciones dinámicas de la atmósfera, en general, complejas. Para diseñar colectores solares se usan métodos que soportan fundamentalmente dos elementos: los balances de energía y el uso de modelos del comportamiento térmico del sistema. Los algoritmos basados en el comportamiento térmico del sistema son los más empleados, por su facilidad y probada eficacia, y los datos se obtienen de evaluaciones de prototipos o mediante el análisis del

comportamiento del colector: para ello se emplea un modelo matemático y un programa de computación que posteriormente, únicamente con ajustar los parámetros de ingreso, podrían ser aplicados para otros fines, con las ventajas que esto conlleva en el diseño y la construcción de los colectores solares.

El diseño que utiliza la modelación matemática se ha empleado fundamentalmente en colectores solares y no en colectores. La eficacia de este procedimiento radica en la simplificación del modelo, y esto se presenta en forma de ecuaciones diferenciales cuya solución utiliza métodos numéricos y programas de computación con elevado grado de complejidad, pero que dan resultados altamente eficientes y que en nuestro país muy poco se han aplicado, por la dificultad de las condiciones físicas y meteorológicas. El presente trabajo es, así, el inicio de un proyecto más amplio que pretende el diseño completo de un secador, pero por ahora nos centramos en las características del colector.

### Análisis del proceso de transferencia de calor en un colector de placa plana

Ecuación de Balance Energético en colectores de placa plana [12].

$$Q_{\text{abs}} = Q_{\text{útil}} + Q_{\text{perd}} + \frac{du}{dt} \quad (1)$$

$Q_{\text{abs}}$  (W): Calor total incidente absorbido por unidad de tiempo.

$Q_{\text{útil}}$  (W): Calor útil que se transfiere al fluido de trabajo.

$Q_{\text{perd}}$  (W): Pérdidas de calor (alrededores) por radiación, convección y conducción.

$du/dt$  (W): Rapidez del cambio de energía almacenada en el colector, que se puede considerar despreciable en principio, considerando que la misma cambia lentamente.

$$\frac{du}{dt} = 0 \quad (2)$$

$$Q_{\text{abs}} = IA_c (\tau\alpha) \quad (3)$$

$I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ): Radiación solar incidente.

$A_c$  ( $\text{m}^2$ ): Área efectiva del colector.

$\tau$ : Transmitancia solar efectiva de la cubierta del colector.

$\alpha$ : Absorbancia de la placa absorbente del colector.

### Análisis térmico del colector

El producto ( $\tau\alpha$ ) es una propiedad del conjunto cubierta translúcida-superficie absorbedora, llamada transmisividad absorbida, que es el resultado de las sucesivas reflexiones que se producen entre ellas; así,  $\tau$  es la transmisividad del recubrimiento en un determinado ángulo de incidencia, y  $\alpha$  es la absorptividad angular de la superficie absorbedora, de toda la energía incidente que es absorbida por la placa, y  $(1 - \alpha)\tau$  es reflejado hacia la cubierta, siendo reflejada de nuevo hacia la superficie absorbedora  $(1 - \alpha)\tau\rho$ , que generalizado nos da la ecuación 4.

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho]^n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho} \quad (4)$$

$\rho$ : Refractividad difusa, toma diferentes valores según el número de cubiertas que se utilicen para 1 cubierta  $\rho = 0,16$ , para 2 cubiertas  $\rho = 0,24$ , para 3 cubiertas  $\rho = 0,29$ , para 4 cubiertas  $\rho = 0,3$  [14].

$$Q_{\text{útil}} = mC_p \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

$m$  (kg): Masa de aire.

$C_p$  (J/kg°C): Capacidad calorífica del fluido.

$dT/dt$  (°C/s): Rapidez del cambio de cambio de temperatura con respecto al tiempo.

$$Q_{\text{perd}} = U_1 A_c (T_{\text{pm}} - T_a) \quad (6)$$

$U_1$  (W/m<sup>2</sup>°C): Coeficiente de pérdidas de calor por radiación, convección y conducción,  $T_{\text{pm}}$  (°C) temperatura media de la placa de absorción, y  $T_a$  temperatura del ambiente.

La temperatura media de la placa es función del diseño del colector, y a su vez, este depende de la radiación solar

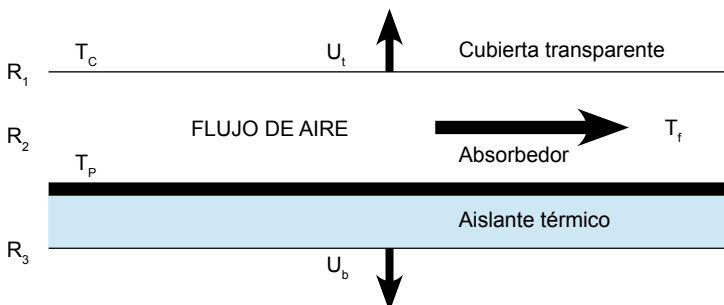


Figura 1. Representación de un colector plano y variables que intervienen.

incidente y la temperatura del fluido de trabajo al entrar al colector.

Considerando las ecuaciones 1, 3 y 6, tendremos:

$$Q_{\text{útil}} = A_c [S - U_1 (T_{\text{pm}} - T_a)] \quad (7)$$

Con  $S$  (W) energía absorbida  $S = I(\tau\alpha)$ . La placa absorbente debe estar bien aislada hacia abajo. La mayor parte de pérdidas al exterior se producen a través de la cubierta superior, cuyo balance de energía se puede expresar por la ecuación 8:

$$U_1(T_a - T_c) + h_r(T_p - T_c) + h_1(T_f - T_c) = 0 \quad (8)$$

Con temperatura ( $T_p$ ) de la placa absorbente, ( $T_c$ ) temperatura de la cubierta y  $T_f$  temperatura del fluido (figura 1), dadas en °C y  $h_1$  coeficiente convectivo entre el aire y la cubierta en W/m<sup>2</sup>°C [4].

Las resistencias equivalentes que representan la oposición a las pérdidas de calor por convección ( $1/h_c$ ) y pérdidas por radiación ( $1/h_r$ ) están representadas por  $R_1$  y  $R_2$ ;  $R_4$  expresa la resistencia a pérdidas por convección y radiación; y  $R_3$  la resistencia a la conducción por el aislante térmico en la parte inferior y lados del colector.  $R_4$  es usualmente muy pequeña (despreciable) (figura 1).

La idea es tratar de obtener una resistencia equivalente ( $R_{eq}$ ). Esta resistencia es igual al inverso del coeficiente total de pérdidas de calor  $R_{eq} = 1/U_1$ . Podemos decir entonces que  $U_1$  es la suma de varios coeficientes de pérdida de calor, que se puede expresar como el inverso de sus resistencias, así:

$$U_1 = U_t + U_b + U_e \quad (9)$$

Donde  $U_t$  es el coeficiente total de transferencia de calor para la parte superior del colector y es igual al inverso de la suma de las 2 primeras resistencias.

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (10)$$

$U_b$  y  $U_e$  son los coeficientes de pérdida de calor por conducción en el fondo y los lados, respectivamente, que tienen que ver con  $R_3$ . Además, en estos coeficientes también tienen relación las dimensiones del colector, y el tipo y grosor del aislante utilizado, de manera que se escribe las relaciones [14]:

$$U_b + U_e = \frac{1}{R_3} \quad (11)$$

$$U_b = \frac{K_a}{1} \quad (12)$$

$$U_e = \frac{K_a MP}{1A_c} \quad (13)$$

$K_a$  (W/m<sup>2</sup>°C): Conductividad térmica del aislante.

$l$  (m): Espesor.

$P$  (m): Perímetro del colector.

$M$  (m): Altura del colector.

De la misma forma, si se realiza un balance en la cubierta, tendremos la ecuación 14:

$$S + U_b(T_a - T_p) + h_r(T_c - T_p) + h_2(T_f - T_p) = 0 \quad (14)$$

Con  $h_2$  coeficiente convectivo entre el aire y la placa en W/m<sup>2</sup>C.

$$\left( (T_c - T_f) = \frac{Sh_r - (T_f - T_a)(U_t h_2 + U_t h_r + U_b h_r)}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \right) \quad (15)$$

El balance en el fluido nos da la ecuación 16:

$$h_1(T_c - T_f) + h_2(T_p - T_f) = q_u \quad (16)$$

Con  $q_u$  ganancia de calor útil por unidad de área W/m<sup>2</sup>.

De las relaciones dadas se puede establecer:

$$\left( (T_c - T_f) = \frac{Sh_r - (T_f - T_a)(U_t h_2 + U_t h_r + U_b h_r)}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \right) \quad (17)$$

$$\left( (T_p - T_f) = \frac{S(U_t + h_r + h_1) - (T_f - T_a)(U_t h_r + U_t U_b + U_b h_r + U_b h_r + U_b h_1)}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \right) \quad (18)$$

Usando estas relaciones y asociándolas, se obtiene:

$$q_u = F^1(S - U_1(T_f - T_a)) \quad (19)$$

Con

$$F^1 = \frac{h_1 h_r + U_1 h_2 + h_2 h_r + h_1 h_2}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \quad (20)$$

$$U_1 = \frac{(U_b + U_t)(h_1 h_r + h_2 h_r + h_1 h_2) + U_b U_t (h_1 - h_2)}{h_1 h_r + U_t h_2 + h_2 h_r + h_1 h_2} \quad (21)$$

Como se ha expresado, el coeficiente global de pérdidas es función de otros coeficientes de pérdidas; en las partes superior e inferior ( $U_t$ ,  $U_b$ ), es necesario realizar un proceso interactivo para conocer dichos valores ya que en principio no se conocen las temperaturas superiores ni inferiores.

Cálculo de  $U_t$ , coeficiente de transferencia de calor [4] por convección, utilizados en colectores solares planos.

$$U_t = \frac{\left( \frac{N}{C \left( \frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right)^e + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} - T_a)(T_{pm}^2 - T_a^2)}{((\varepsilon_2 + 0.00059)(N)h_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_1 - N}{\varepsilon_1}}}{\sigma(T_{pm} - T_a)(T_{pm}^2 - T_a^2)} \quad (22)$$

Donde  $N$  es el número de capas del colector,  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$  son emisividad de la cubierta y la superficie absorbadora,  $f$ ,  $C$  y  $e$  se obtienen según las siguientes expresiones:

$$f = (1 + 0.089h_w + 0.1166h_w \varepsilon_2) \cdot (1 + 0.07866N) \quad (23)$$

$$C = 520(1 - 0,000051\beta^2) \quad (24)$$

$$e = 0,430 \left( 1 - \frac{100}{T_{pm}} \right) \quad (25)$$

$\beta$  (°): Ángulo de inclinación del colector.

$hw$ (W/m<sup>2</sup>°C): Pérdidas en el colector debido al viento.

$$h_w = 2,8 + 3v \quad (26)$$

Con  $v$  (m/s) velocidad del viento.

Las pérdidas que se producen en la parte inferior del colector  $U_b$  son debidas en su mayor parte a las características del aislante, y se puede expresar como [4]:

$$U_b = \frac{K_{ais}}{e_{ais}} \quad (27)$$

$K_{ais}$  (W/m<sup>2</sup>°C): Conductividad térmica.

$e_{ais}$  (m): Espesor del aislante.

Los coeficientes convectivos se pueden suponer iguales para el colector ( $h_1 = h_2 = h$ ), que se obtendrá a partir del número de Nusselt:

$$h = N_v \frac{K_v}{D_h} \quad (28)$$

Con  $K_v$  conductividad térmica del aire (W/m<sup>2</sup>°C) y  $D_h$  longitud característica en el colector o diámetro hidráulico (m<sup>2</sup>), que en superficies paralelas coincide dos veces la distancia entre placas.

Para obtener el número de Nusselt  $N_v$ , según Duffie y Beckman [4], es posible utilizar la expresión:

$$R_e = \frac{\rho v D_h}{\mu} = \frac{m_a D_h}{D_h \mu} \quad (29)$$

Con  $\rho$  densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>),  $m_a$  caudal másico del aire (kg/s),  $\mu$  viscosidad dinámica del aire (kg/ms) y  $A_f$  sección transversal del colector por donde pasa el aire.

La temperatura media del fluido para la cual se evaluarán las propiedades del fluido se define [4] según la expresión:

$$T_{fm} = \frac{1}{L} \int_0^L T_f(y) dy = T_i + \frac{Q_u}{A_c F_R U_L} (1 - F^{11}) \quad (30)$$

Con  $F^{11}$  factor de flujo dado por la ecuación:

$$F^{11} = \frac{m_a c_p}{A_c U_L F^1} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{A_c U_L F^1}{m_a c_p} \right) \right] \quad (31)$$

Existiendo una relación entre el factor de dispersión de calor, el factor de eficiencia del colector y el factor de flujo.

$$F_R = F^1 F^{11} \quad (32)$$

Con  $F_R$  factor de disipación de calor, definido como:

$$F_R = \frac{m_a c_{pa}}{A_c U_L} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{A_c U_L F^1}{m_a c_p} \right) \right] \quad (33)$$

Combinando las expresiones dadas se puede obtener una relación para la temperatura media de la placa absorbadora:

$$T_{pm} = T_{fi} + \frac{Q_u}{A_c F_R U_L} (1 - F_R) \quad (34)$$

Con un proceso de interacción se puede partir de un cálculo inicial de estos valores para un  $T_{pm} = T_i + 20$  aproximadamente, repitiendo el proceso hasta que converja; y una vez que se puede obtener el calor útil, podemos hallar la temperatura de salida  $T$  y la eficiencia, ecuaciones 35 y 36, respectivamente

$$T = T_a + \frac{Q_u}{m_a c_{pa}} \quad (35)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{I \cdot A_c} \quad (36)$$

## Propiedades físicas del aire

El comportamiento del aire varía según las condiciones de la zona, pudiéndose definir calor específico  $C_e$  (J/kg.K) [8] como:

$$C_e = 999,2 + 0,1434T + 1,101 \times 10^{10} T^2 - 6,7581 \times 10^{-8} T^3 \quad (37)$$

T: Temperatura ( $^{\circ}$ K) del aire húmedo.

De la misma forma se aplica a la densidad  $\rho$ (kg / m<sup>3</sup>):

$$\rho = \left( \frac{P_o}{P} \right) \frac{353,44}{T + 273,15} \quad (39)$$

$P_o$ : Presión a nivel del mar.

P: Presión en la ciudad de Riobamba, tabla I.

Viscosidad dinámica  $\mu$  (N.s/m<sup>2</sup>)

$$\mu = 1,718 \times 10^{-5} + 4,62 \times 10^{-8} \times T_m \quad (39)$$

Conductividad térmica  $k_v$  (W/m.K)

$$k_v = 0,0244 + 0,7673 \times 10^{-4} \times T_m \quad (40)$$

## Inclinación del colector solar

El ángulo de inclinación óptimo de las superficies captadoras de un sistema solar está determinado por muchos factores; entre ellos, la radiación incidente en el lugar donde va situada la instalación y el cielo solar, donde influye la sombra de objetos que no pueden ser eliminados, (como edificios, montañas, etc.).

La ubicación del colector en nuestro caso (hemisferio sur) debería estar hacia el norte, con una inclinación similar a la latitud para que los rayos del sol incidan perpendicularmente a la superficie y se tenga mejor aprovechamiento; pero por cuestiones de limpieza (para que el polvo que se acumula en la superficie tienda a resbalar, la lluvia no se acumule y, más

bien, sea la encargada de limpiar por sí sola la superficie), se les puede dar una inclinación de  $\pm 10^{\circ}$  sin que esto afecte sensiblemente su funcionamiento [4,8].

## RESULTADOS

Para el desarrollo del trabajo se procedió a establecer ciertos parámetros fundamentales bajo condiciones típicas de la ciudad de Riobamba; para ello se tomó como referencia una altura respecto al nivel del mar de 2750 m, Latitud:  $1^{\circ} 39' 58''$  S Longitud:  $78^{\circ} 39' 33''$  O, así como datos de presión atmosférica, temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento, entre otros, tomados en la estación meteorológica de la ESPOCH, desde el año 2007 hasta la fecha.

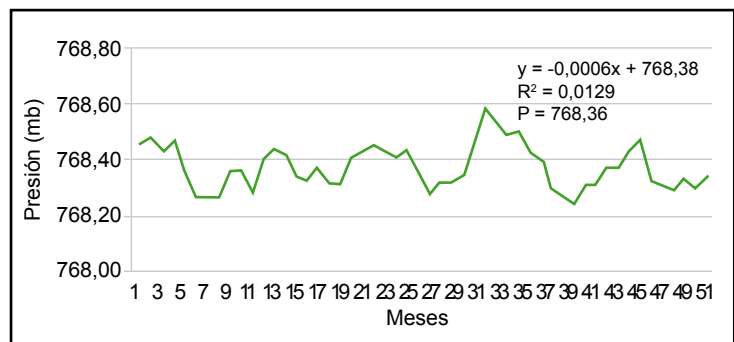


Figura 2. Datos mensuales de presión atmosférica en la ciudad de Riobamba en el período 2007-2012

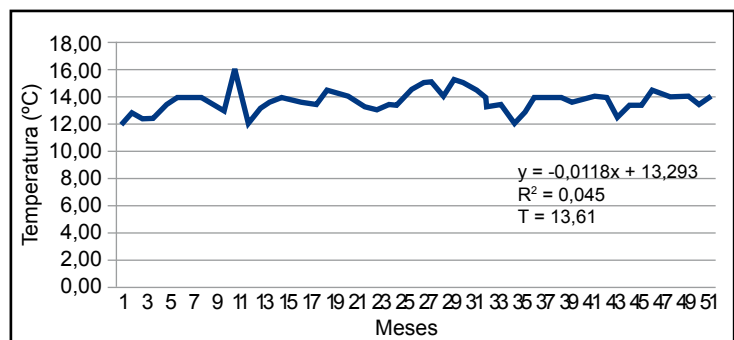


Figura 3. Datos promedio mensuales de temperatura ambiente en la ciudad de Riobamba en el período 2007-2012

Usando estos datos se ha procedido a determinar parámetros necesarios para el funcionamiento del modelo.

Para la verificación de funcionamiento y comparación de resultados se ha tomado una serie de datos a nivel del mar en el aeropuerto de Guayaquil y otra en Riobamba, con flujos máxicos de referencia de 0,06 Kg/s y dimensiones del colector de 1m x 1m.

| Hora  | Datos Guayaquil  |                   |                               |               | Datos Riobamba   |                   |                               |               |
|-------|------------------|-------------------|-------------------------------|---------------|------------------|-------------------|-------------------------------|---------------|
|       | Velocidad<br>m/s | Temperatura<br>°C | Radiación<br>W/m <sup>2</sup> | Presión<br>mb | Velocidad<br>m/s | Temperatura<br>°C | Radiación<br>W/m <sup>2</sup> | Presión<br>mb |
| 7:00  | 1,67             | 22                | 88,92                         | 1140          | 0,3              | 10,9              | 84,1                          | 768,3         |
| 8:00  | 1,67             | 23                | 215,78                        | 1140          | 0,4              | 12,4              | 170,9                         | 768,3         |
| 9:00  | 1,94             | 24                | 274,07                        | 1140          | 1,1              | 13,9              | 297,3                         | 768,4         |
| 10:00 | 1,94             | 25                | 220,32                        | 1150          | 1,9              | 15                | 448,1                         | 768,3         |
| 11:00 | 1,94             | 26                | 428,85                        | 1140          | 1,4              | 17,9              | 1076,7                        | 768,1         |
| 12:00 | 1,94             | 28                | 775,22                        | 1130          | 2                | 19                | 1035,3                        | 768,1         |
| 13:00 | 1,94             | 29                | 604,75                        | 1120          | 6,2              | 18,2              | 349,3                         | 768,2         |
| 14:00 | 2,22             | 29                | 550,13                        | 1110          | 3,5              | 15,7              | 109,6                         | 768           |
| 15:00 | 2,5              | 30                | 496,63                        | 1110          | 1,7              | 16,8              | 216,3                         | 768           |
| 16:00 | 2,5              | 29                | 323,87                        | 1100          | 2,7              | 15,7              | 102,5                         | 768           |
| 17:00 | 2,5              | 28                | 292,97                        | 1110          | 0,9              | 14,6              | 90,7                          | 768           |

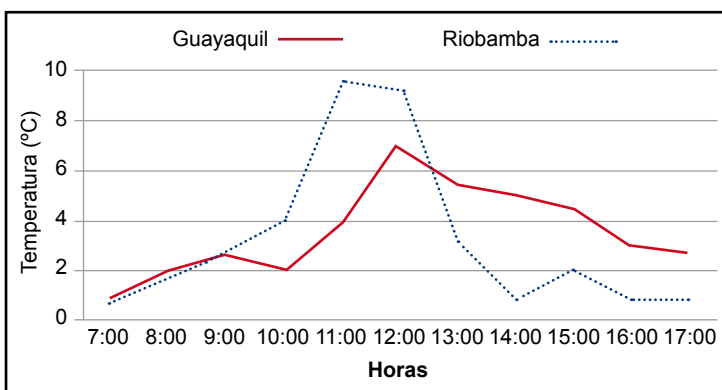


Figura 4. Incremento de temperatura en los datos procesados de Guayaquil y Riobamba

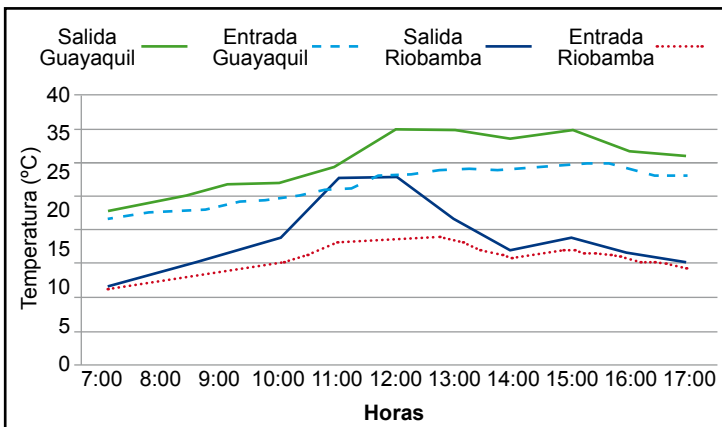


Figura 5. Temperatura de salida y entrada del modelo de simulación del colector con datos de ingreso de Guayaquil y Riobamba

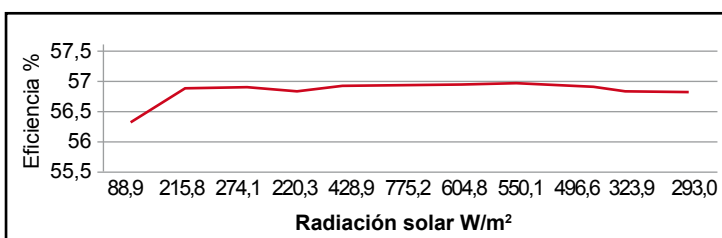


Figura 6. Resultados de eficiencia de salida del colector respecto a la radiación solar ingresada con los datos de Guayaquil

## CONCLUSIONES

- El modelo no presenta diferencias significativas entre los resultados procesados de las medidas hechas en la ciudad de Guayaquil (nivel del mar) y la ciudad de Riobamba (2700 metros sobre el nivel del mar), pero sí frente a los resultados de Badajoz (España).
- La diferencia de temperatura llega hasta 9,47 °C en la ciudad de Riobamba y 6,81 °C en Guayaquil, observándose un mayor gradiente en Riobamba a lo largo del día; sin embargo, se nota mayor estabilidad en Guayaquil que en Riobamba.
- Comparando con resultados similares hechos en la ciudad de Badajoz, se puede notar una mayor eficiencia en Riobamba y Guayaquil, dadas las variaciones de inclinación solar.
- La temperatura alcanza entre 34,81 °C y 21,09 °C en las ciudades de Guayaquil y Riobamba, respectivamente, en las pruebas realizadas, condición que debe tomarse en cuenta en el diseño de secadores para mejorar el proceso de secado y la eficiencia.
- La dirección del colector en nuestro caso (hemisferio sur) debe estar hacia el norte con una inclinación similar a la latitud, para que los rayos del sol incidan perpendicularmente a la superficie y se tenga mejor aprovecha-



miento; pero por cuestiones de limpieza del polvo (que se acumula en la superficie) y de la lluvia (para que no se acumule y, más bien, sea la encargada de limpiar la superficie) se le ha dado una inclinación de  $\pm 10^\circ$  sin que esto afecte sensiblemente su funcionamiento, dado que la ecuación definida en la teoría [1] es inaplicable en nuestro caso.

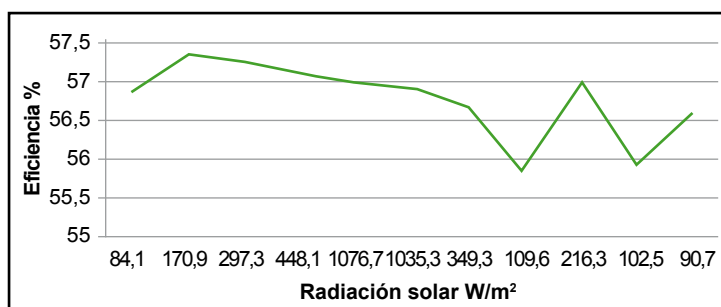


Figura 7. Resultados de eficiencia de salida del colector respecto a la radiación ingresada con datos de Riobamba

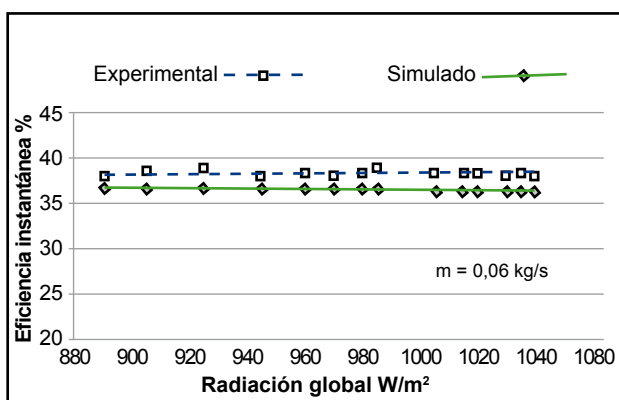


Figura 8. Resultados de eficiencia de salida del colector respecto a la radiación ingresada con los datos de Badajoz (España)

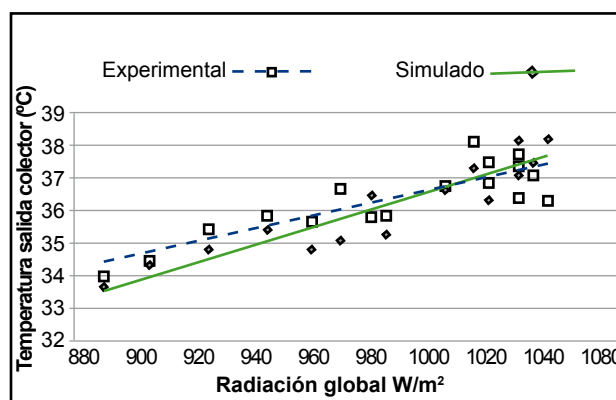


Figura 9. Datos de temperatura de salida del colector respecto a la radiación incidente en la ciudad de Badajoz (España)

## Bibliografía complementaria

1. Pareja M. Radiación solar y su aprovechamiento energético. Barcelona, España: Marcombo S.A.; 2010.
2. Creus A. Energía termosolar. Cataluña, España: Cano pina S. L.; 2010.
3. Fernández J. Compendio de energía solar. Madrid, España: ed. Mundi-prensa; 2010.
4. Montero I. "Modelo y construcción de un secador solar híbrido para residuos biomásicos". [Tesis de Doctorado]. España. Universidad de Extremadura; 2005.
5. Castañeda A, González A, Guzmán R, Ibarra O. 2012. Desarrollo de un horno solar para el secado de plantas y vegetales usando control difuso. Acta Universitaria. Universidad de Guanajuato, Vol. 23.
6. Zomorodian A & Moradi M. 2010. "Mathematical Modeling of Forced Convection Yhin Layer Solar Drying for Cuminumcyminum". Journal Agroindustry Science and Technologic, 12: 401-408.
7. Leal A, Ramírez A, Vásquez L. Experiencias prácticas en la explotación del secador solar multi-propósito. Cuba: CIES, Editorial Universitaria; 2010.
8. Andrade J., Ochoa P. Reducción del consumo de energía eléctrica residencial, mediante la aplicación de sistemas termo-solares para el calentamiento de agua sanitaria en viviendas domiciliarias en el cantón Cuenca. [Tesis]. Universidad de Cuenca; 2013.
9. Bergues R, Abdala J, Griñán P. Concepción y evaluación de un secador solar de gramos con cubierta de polietileno. Universidad de Oriente, Cuba; 2010.
10. Miranda-Zamora W, Teixeira A. Principios matemáticos del proceso térmico de alimento. Madrid, España: A. Madrid Vicente Ediciones; 2012.
11. Hii CL, Jangam SV, Ong SP, Mujumdar AS. Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations; 2012.
12. Sivipaucar C, Cuero H, Huanchuari E, Llantoy V, Valderrama A. Calculation and construction of a solar dryer by natural convection for drying of nontraditional medicinal plants. Centro de investigaciones en termofluidos CEDIT.

13. Picard A, Davis RS, Gläser M, Fujii K. 2008. Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007). *Metrología*. 45: 149-155.
14. Martínez-Rodríguez C, Ferrer-Tevar J, Heras-Celemín M. [Internet] 2013. Tendencias de investigación y desarrollo para eficiencia y gestión energética aplicados a la industria y agricultura. *Dyna Energía y Sostenibilidad*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.6036/ES6915>.
16. Socorro-Picó M, Valero-Verdú S, Senabre-Blanes C. [Internet] 2014. Análisis económico-técnico de instalaciones fotovoltaicas para viviendas. *Dyna Energía y Sostenibilidad*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.6036/ES7256>.

# EFFECTO DE PREPARADOS CON LEVADURAS *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* Y LEVICA 25 VIABLES EN LOS METANÓGENOS Y METANOGÉNESIS RUMINAL *IN VITRO*

S. Castañeda; B. Díaz; G. Moreno

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Panamericana Sur Km 1. Teléfono: 097192784. E-mail: holabyron@yahoo.es

## R esumen

En el departamento de Ciencias Biofisiológicas perteneciente al Instituto de Ciencia Animal, que se encuentra ubicado en el Municipio San José de las Lajas, provincia La Habana, Cuba, entre septiembre de 2008 y enero de 2009, se realizó la investigación “Efecto de preparados con levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y Levica 25 viables en los metanógenos y metanogénesis ruminal in vitro”, cuyos tratamientos evaluados fueron: pasto estrella (control), pasto estrella + *Saccharomyces cerevisiae* y pasto estrella + Levica 25, donde se utilizó líquido ruminal de búfalos. Se evaluaron 3 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, a las 8, 12 y 24 horas; en la cual se aplicó un diseño completamente al azar bifactorial 3 x 3 (3 tratamientos, 3 horas de muestreo). Existieron diferencias altamente significativas en función del tipo de tratamientos dentro de cada hora de evaluación y en función de las horas evaluadas en los diferentes tratamientos, cuyas variables fueron: población de metanógenos, producción de gas, producción de metano, bacterias celulolíticas, bacterias viables totales, protozoos y Ph. En este último se registraron diferencias significativas dentro de los tratamientos en donde se utilizaron levaduras y el tratamiento control; no así dentro de las horas de fermentación, en donde no se registraron diferencias estadísticas. Por lo tanto, la utilización de levaduras como suplemento en la dieta de rumiantes mejora el aprovechamiento del alimento ya que aumenta la población de bacterias celulolíticas (que desdoblán la celulosa) y hay una disminución de la población de bacterias metanogénicas (que producen el metano, perjudicial para el medioambiente). Se determinó que la mejor levadura es la Levica 25, que produce un efecto más eficiente. Por todo lo expuesto, se recomienda la utilización de preparados microbianos a partir de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae* y Levica 25) en rumiantes mayores para disminuir la metanogénesis en el rumen e incrementar la población de bacterias celulolíticas, que permitirán una mayor digestibilidad y aprovechamiento de los nutrientes de los pastos; igualmente se recomienda realizar otras investigaciones con otros preparados microbianos.

**Palabras claves:** levaduras, metanogénesis, ruminal, metano, celulolíticas

## A bstract

In the department of sciences Biofisiológicas belong to the Institute of Animal Science that is located in the Municipality San José de las Lajas, county Habana, Cuba province, between September 2008 and January 2009, It've made the follow investigation: “Effect of prepared with yeasts *Saccharomyces cerevisiae* and Levica 25 viable in the metanógenos and metanogénesis ruminal in vitro” whose valued treatments were: I pasture it shatters (control), Pasture it shatters + *Saccharomyces cerevisiae* and Grass shatters + Levica 25 where you uses liquidate ruminal of buffalos. 3 treatments were eva-

1. Autor de la Investigación. Tesis de Grado para la obtención del Título de Ingeniera Zootecnista.
2. Miembros de tribunal de tesis. Docentes. FCP. ESPOCH.

luated with 4 repetitions each one at the 8,12 and 24 hours, in which a design was applied bifactorial totally at random 3 x 3 (3 treatments, 3 hours of sampling).Existed highly significant differences in function to the type of treatments in every hour of evaluation and in function of the hours evaluated in the different treatments whose variables: population of metanógenos production of gas production of methane bacterias celulolíticas bacterias viable total protozoos and Ph. Observed in this last that registered significant differences inside the treatments where yeasts and the treatment control were used, not being this way in the hours of fermentation where didn't register statistical differences. Therefore the use of Yeasts like supplement in the diet of ruminant improvement the use of the food since the population of bacterias celulolíticas increases which unfold the cellulose and there is the population's of bacterias metanogénicas decrease which produce the methane that is harmful for the environment. You determines that the best yeast is the Levica 25 which produces a more efficient effect. All told that exposed the use is recommended of prepared microbial starting from yeasts (*Saccharomyces cerevisiae* and Levica 25) in ruminant adults to diminish the metanogénesis in the rumen and to increase the population of bacterias celulolíticas that you/they will allow a bigger digestibilidad and use of the nutrients of the grasses, equally to carry out other investigations with other microbial preparations.

**Keywords:** yeasts, methanogenesis, ruminal, methane, celulolíticas

## INTRODUCCIÓN

Los rumiantes producen alrededor del 97% del metano generado por los animales domésticos, y el sitio principal de generación de metano es el rumen, como consecuencia inevitable de la fermentación de los carbohidratos por los microorganismos que habitan en él; se estima una producción anual de 300-600 litros en rumiantes adultos. Este gas es el responsable del 18% del efecto invernadero producido en la atmósfera. Se emite a la atmósfera mediante el eructo, y la cantidad que se libera depende del volumen y del tipo de alimento que consumen los rumiantes, siendo su producción menor cuando las dietas tienen bajas cantidades de fibra (1).

El metano que emiten los rumiantes no solo constituye un problema ecológico, sino que también contribuye a la pérdida de energía del alimento, lo que trae como consecuencia una disminución de la productividad de los animales, estimándose que más del 10% de la energía bruta que contienen los alimentos se pierde en forma de metano.

Se ha demostrado que, en rumiantes, las prácticas de alimentación que aumenten el consumo y la velocidad de digestión o acorten el tiempo de permanencia de los alimentos en el rumen disminuyen la producción de metano por unidad de forraje digerido. Al respecto, el empleo de preparados microbianos con levaduras viables constituye una atractiva opción. Una posibilidad, que ha sido estudiada para reducir la producción de metano en el rumen, es el empleo de aditivos con levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

En Cuba, Marrero (2) determinó que esta levadura es capaz de activar la población microbiana ruminal, e indicó que otras levaduras, entre las que se destaca Levica 25, pueden producir potencialmente efectos superiores a la *Saccharomyces cerevisiae*. Es bien reconocido que la dieta, y principalmente el contenido de fibra, influyen en la densidad poblacional de metanógenos en el rumen; así, menor cantidad de bacterias metanogénicas se detectarán en el rumen de animales alimentados con concentrado en comparación a los alimentados con forraje (3).

El empleo de aditivos microbianos con levaduras viables es una opción válida para contrarrestar la población de metanógenos, debido a su importante papel como manipuladoras de la fermentación ruminal, lo que provoca un incremento de bacterias celulolíticas que permiten una mejor digestión y, consecuentemente, mayor aprovechamiento de los nutrientes del alimento. Por estas consideraciones, en la presente investigación se planteó evaluar el efecto de preparados de levaduras a partir de *Saccharomyces cerevisiae* y Levica 25 en la metanogénesis ruminal *in vitro* de rumiantes mayores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento se efectuó en el Laboratorio de Microbiología del Rumen del Instituto de Ciencia Animal, ubicado en la Carretera Central km 47 ½, en el Municipio San José de las Lajas, Provincia La Habana, Cuba. El experimento de validación se efectuó en el Laboratorio de Biotecnología y Microbiología Animal de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la Facultad de Ciencias Pecuarias, localizado en la Panamericana Sur km 1 ½, Riobamba, Ecuador.

### UNIDADES EXPERIMENTALES

Las unidades experimentales estuvieron conformadas por 4 botellas de vidrio de 100 mL selladas con tapón de butilo y agrafe, en las cuales se introdujo el líquido ruminal, pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y preparados de levaduras.

### ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA

Los resultados experimentales fueron sometidos a los siguientes procedimientos:

- Análisis de Varianza (ADEVA).
- Separación de Promedios por el método de rango múltiple de Duncan a un nivel de significancia de  $P < 0,05$  y  $P < 0,01$ .

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El experimento se condujo bajo condiciones *in vitro*, para lo cual se utilizó la técnica de Theodorou et al. (4) y se emplearon botellas de vidrio de 100 mL selladas con tapón de butilo y agrafe.

En cada botella se introdujo la mezcla integrada por líquido de rumen y so-

lución buffer en una relación de una parte de líquido ruminal y tres partes de solución buffer; y para el control se introdujo la mezcla integrada por líquido de rumen y solución buffer en una relación de una parte de líquido ruminal y cuatro partes de solución buffer.

El inóculo ruminal se obtuvo a partir de dos búfalos canulados en rumen alimentados con una dieta de forraje de gramíneas sin suplementación adicional y libre acceso al agua.

La muestra de líquido ruminal se colectó mediante la cánula, con la ayuda de una bomba de vacío, y se conservó en termos herméticamente cerrados hasta su traslado al laboratorio de microbiología y genética molecular del rumen, del Instituto de Ciencia Animal, donde, posteriormente, se filtrarán a través de muselina. Para conformar la mezcla a fermentar, se utilizó el pool (licuado) de líquido ruminal de los búfalos con el propósito de eliminar el efecto animal.

### Técnicas de cultivo y conteos de microorganismos

Se utilizó la técnica de cultivo de Hungate (5) en tubos roll y bajo condiciones de anaerobiosis estricta.

La siembra de bacterias viables totales y celulolíticas se efectuó en los medios de cultivo de Caldwell y Bryant (6), modificados por Galindo (7). Las bacterias metanogénicas se contaron por el mismo método; pero se utilizó una mezcla de hidrógeno y dióxido de carbono (60:40) en la fase gaseosa.

Los protozoos se preservaron en formol al 10% en una dilución 1:1 (v/v). Las muestras preservadas se guardaron en refrigerador a 4 °C y se contaron, posteriormente, al microscopio óptico en cámara de Neubauer. Para ello, los protozoos se tiñeron con una solución de violeta genciana al 0,01% en ácido acético glacial al 1%.

### Preparación de la muestra del pasto

El alimento base para la fermentación es pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), que se obtuvo a partir de un área sin pastorear del Instituto de Ciencia Animal. Para su preparación, se recolectaron hojas con sus pecíolos, de manera que semejara el bocado del animal. La muestra se secó en estufa a 60 °C durante 48 horas. Luego se molió en molino hasta un tamaño de partículas de 1 mm. Se conservó en frascos de cristal hasta su posterior utilización en el experimento.

Una muestra de aproximadamente 100 g se llevó al Laboratorio de Química Analítica para determinar su composición bromatológica.

## Obtención del preparado microbiano con *Saccharomyces cerevisiae* y Levica 25

Primeramente se preparó sendos pre inóculos, para lo cual se toman varias asas de cultivos en cuña de ambas levaduras con 24 horas de crecimiento, y se disuelven en 10 mL de caldo extracto de malta. Se incubó a 30 °C durante 16 horas. El preparado que se utilizó en el experimento se obtuvo después de inocular los 10 mL anteriormente obtenidos en 100 mL de caldo extracto de malta. De igual manera, se colocaron en la incubadora a 30 °C durante 16 horas. Se obtuvieron dos preparados microbianos, los que corresponden a sendas levaduras con una concentración inicial de células de 1 x 10<sup>7</sup> cel/mL.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### EVALUACIÓN DE LA METANOGÉNESIS RUMINAL *IN VITRO* POR EFECTO DE PREPARADOS MICROBIANOS CON LEVADURAS VIABLES

#### Potencial hidrógeno (pH)

Se registraron diferencias significativas en los tratamientos donde se utilizaron levaduras y el tratamiento control; no así en cuanto a las horas de fermentación, donde no se registraron diferencias estadísticas.

En cuanto al pH presente en el líquido ruminal, al utilizar levaduras *in vitro* versus el tratamiento control, se puede señalar que el pH más bajo se presentó con la utilización de la levadura Levica 25 en 6,33, mientras que al utilizar *Saccharomyces cerevisiae* el pH fue mayor con 6,79; finalmente con el tratamiento control se presentó un pH alcalino de 7,43, siendo este el más elevado en comparación con el pH obtenido en los tratamientos en que se utilizó levaduras (cuadro 1).

| Tratamiento y tiempo de fermentación                                            |                                |        |        |           |        |       |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------|--------|-----------|--------|-------|
| Variables                                                                       | Tratamientos                   |        |        | $\bar{X}$ | Prob.  | CV(%) |
|                                                                                 | C                              | S      | L      |           |        |       |
| pH                                                                              | 7,43 a                         | 6,79 b | 6,33 c | 6,85      | 0,0001 | 5,47  |
| C: Control                      S: <i>Saccharomyces cerevisiae</i> L: Levica 25 |                                |        |        |           |        |       |
| Variables                                                                       | Tiempo de fermentación (horas) |        |        | $\bar{X}$ | Prob.  | CV%   |
|                                                                                 | 8                              | 12     | 24     |           |        |       |
| PH                                                                              | 6,98 a                         | 6,81 a | 6,77 a | 6,85      | 0,3632 | 5,47  |

Fuente: Castañeda, 2008

Cuadro 1. Resultados de eficiencia de salida del colector respecto a la radiación solar ingresada con los datos de Guayaquil

#### Producción de gas total (ml/g)

Mediante la incorporación *in vitro* de Levica 25 se determinaron diferencias estadísticas. Así, a las 24 horas de

evaluación se determinó el mayor promedio con 42,55 ml/g de materia seca de gas total; seguido por las 12 y 8 horas de evaluación, donde se determinaron promedios de producción de gas total de 25,33 y 20,50 ml/g de materia seca, respectivamente (cuadro 2).

Los resultados obtenidos en cada una de las horas evaluadas en los diferentes tratamientos demuestran la marcada disminución de gas metano que compone gran parte de la producción de gas total, considerando lo expuesto por Marrero (2), quien determinó que esta levadura es capaz de activar la población microbiana ruminal y reducir la producción de metano, destacando que Levica 25 puede producir potencialmente efectos superiores a la *Saccharomyces cerevisiae*, por lo que en la presente investigación se obtuvieron efectos similares a los expuestos por el mencionado autor.

#### Producción de gas metano (µL)

Al comparar los promedios en cuanto a la producción de gas metano en función del tipo de tratamientos dentro de cada hora de evaluación y en función de las horas de evaluación dentro de cada tipo de levadura y grupo control, se determinó diferencias estadísticas con diferentes comportamientos dentro de cada tipo de levadura evaluada. De esta manera, al comparar la producción de gas metano dentro del grupo control, se determinó el mayor promedio a las 24 horas con 11,50 µL, seguido por producciones más bajas de gas metano obtenidas a las 12 y 8 horas de evaluación, en las cuales se determinó producciones de 10,50 y 9,25 µL, respectivamente (cuadro 2).

Mediante la incorporación *in vitro* de Levica 25 se determinaron diferencias estadísticas. Así, a las 24 horas de evaluación se determinó el promedio más bajo, con 3,00 µL de gas total, en donde los mayores promedios de producción de gas metano se obtuvieron a las 12 y 8 horas de evaluación, con 4,50 y 6,75 µL, respectivamente (cuadro 2).

Los resultados obtenidos con los preparados microbianos se hallan relacionados con lo descrito por Hungate (5), quien in-

formó que los metanógenos que viven en el interior o adheridos a la superficie de los protozoos ciliados del rumen son responsables de más del 37% de las emisiones de metano.

| Tratamientos de acuerdo con el tiempo                            |         |         |         |          |         |         |          |          |         |        |          |        |
|------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|----------|---------|--------|----------|--------|
| Variables                                                        | 8 horas |         |         | 12 horas |         |         | 24 horas |          |         | X      | Prob.    | CV (%) |
|                                                                  | C       | S       | L       | C        | S       | L       | C        | S        | L       |        |          |        |
| Densidad de Bacterias Viables Totales, $1 \times 10^{11}$ UFC/ml | 72,00 a | 66,00 b | 18,00 c | 112,95 a | 78,50 b | 69,50 c | 264,25 a | 169,25 b | 126,0 c | 108,52 | 0,0001** | 1,43   |
| Densidad de Bacterias Celulolíticas, $1 \times 10^4$ UFL/ml      | 26,00 c | 27,00 b | 30,00 a | 14,00 c  | 30,00 b | 42,50 a | 13,50 c  | 37,25 b  | 64,50 a | 31,64  | 0,0001** | 3,32   |
| Densidad de Bacterias Metanogénicas $1 \times 10^9$ UFC/ml       | 81,00 a | 72,50 b | 66,53 c | 112,00 a | 54,53 b | 43,03 c | 300,00 a | 48,48 b  | 39,25 c | 90,81  | 0,0001** | 2,25   |
| Densidad de Protozoarios, $1 \times 10^5$ especímenes/ml         | 19,13 a | 16,50 b | 14,88 c | 21,50 a  | 14,50 b | 12,63 c | 34,88 a  | 11,25 b  | 6,88 c  | 16,90  | 0,0001** | 6,61   |
| Producción de Gas Total, mL/g de Ms                              | 43,30 a | 30,30 b | 20,50 c | 62,13 a  | 45,50 b | 25,33 c | 95,00 a  | 71,55 b  | 42,55 c | 48,46  | 0,0001** | 3,41   |
| Producción de Gas Metano $\mu$ L                                 | 9,25 a  | 8,25 b  | 6,75 c  | 10,50 a  | 7,75 b  | 4,50 c  | 11,50 a  | 4,75 b   | 3,00 c  | 7,36   | 0,0001** | 6,60   |

Fuente: Castañeda, 2008.

C: Control S: *Saccharomyces cerevisiae* L: Levica 25

Letras iguales no difieren estadísticamente. Según Duncan ( $P < 0.05$  y  $P < 0.01$ ).

Prob: Probabilidad.

CV (%): Porcentaje de Coeficiente de Variación. X: Media General. \*\*: Diferencia altamente significativa entre promedios. \*: Diferencia significativa entre promedios. ns: Diferencia no significativa entre promedios.

Cuadro 2. Evaluación de las características microbiológicas y fermentativas ante el efecto de preparados microbianos con levaduras variables sobre la metanogénesis ruminal *in vitro*, de acuerdo con el tratamiento y tiempo de fermentación

## EFFECTO DE PREPARADOS MICROBIANOS CON LEVADURAS VIA-BLES EN LA POBLACIÓN MICROBIO-LÓGICA RUMINAL *IN VITRO*

### Población de bacterias viables totales (ufc/ml)

Mediante la incorporación *in vitro* de Levica 25 se determinaron diferencias estadísticas. Así, a las 24 horas de evaluación se determinó el mayor promedio con  $126,00 \times 10^{11}$  UFC de bacterias viables totales/ml; seguido por las densidades de bacterias obtenidas a las 12 y 8 horas de evaluación, donde se determinaron promedios de  $69,50$  y  $18,00 \times 10^{11}$  UFC/ml en su orden (cuadro 2).

Los resultados obtenidos en la población de bacterias viables totales están relacionados con los obtenidos por Orpin (8), quien al evaluar el efecto de *Saccharomyces boulardii* en el metabolismo ruminal concluyó que la levadura era digerida por los microorganismos del rumen, por lo que era más utilizada como prebiótico que como aditivo microbiano, por obtener un incremento significativo en la población de bacterias benéficas que favorecían a la digestión de los forrajes.

### Población de bacterias celulolíticas (ufc/ml)

Mediante la incorporación *in vitro* de Levica 25 se determinaron diferencias estadísticas. Así, a las 24 horas de evaluación se obtuvo el mayor promedio, con  $64,50 \times 10^4$  UFC de bacterias celulolíticas/ml; seguido por las densidades más bajas de bacterias obtenidas a las 12 y 8 ho-

ras de evaluación, donde se determinaron promedios de 42,50 y 30,00x10<sup>4</sup> UFC/ml respectivamente (cuadro 2). Respecto a estos resultados, se confirma que la levadura Levica 25 resultó ser la más promisoriosa para su empleo como activadora de la fermentación ruminal. Coincidiendo con los resultados expuestos por Marrero (2), quien afirma que esta cepa produjo 15% más de gas en fermentaciones *in vitro* con *Cynodon nlemfuensis* en relación con el resto de las aisladas en el rumen; y además ejerció efectos activadores más prolongados en las poblaciones fúngicas y de bacterias totales y celulolíticas cuando se comparó con la cepa *Saccharomyces cerevisiae* L/25-7-13, en vacas que consumen dietas fibrosas.

### Población de bacterias metanogénicas (ufc/ml)

Mediante la incorporación *in vitro* de Levica 25 se determinaron diferencias estadísticas. Así, a las 8 horas de evaluación se obtuvo el mayor promedio, con 66,53x10<sup>9</sup> UFC de bacterias metanogénicas/mL; seguido por el promedio obtenido a las 12 horas de evaluación con 43,03x10<sup>9</sup> UFC/mL, mientras que un promedio menor se registró a las 24 horas con 39,25x10<sup>9</sup> UFC/mL (cuadro 2).

### Población de protozoos (ufc/mL)

Al comparar los promedios de la densidad de protozoarios, en función del tipo de levadura dentro de cada hora de evaluación, y en función de las horas de evaluación dentro de cada tipo de levadura, se determinó diferentes comportamientos dentro de cada tipo de levadura evaluada de esta manera. Al comparar la densidad de protozoarios dentro del grupo control, se determinó el mayor promedio a las 24 horas, con 34,88x10<sup>5</sup> especímenes/mL; posteriormente se presentaron densidades más bajas de protozoarios obtenidas a las 12 y 8 horas de evaluación, en las cuales se determinaron promedios de 21,50 y 19,13x10<sup>5</sup> especímenes/mL respectivamente (cuadro 2).

Mediante la incorporación *in vitro* de Levica 25 se determinaron diferencias estadísticas: a las 8 horas de eva-

luación se obtuvo el mayor promedio, con 14,88x10<sup>5</sup> especímenes de protozoarios/mL; seguido por el promedio obtenido a las 12 horas de evaluación, con 12,63x10<sup>5</sup> especímenes/mL; mientras que un promedio menor se registró a las 24 horas, con un promedio de protozoarios de 6,88x10<sup>5</sup> especímenes/mL (cuadro 2).

De la misma manera, al validar el efecto del preparado microbiano a partir de *Saccharomyces cerevisiae* en Ecuador se determinó que la densidad de protozoarios decrece con relación al incremento del tiempo de fermentación; así, se ha determinado una disminución en la población de protozoarios a partir de la hora 8 con 12,25x10<sup>5</sup> especímenes/mL, decreciendo a una población de 10,50x10<sup>5</sup> especímenes/mL a las 12 horas de evaluación, y finalmente a 8,00x10<sup>5</sup> especímenes/mL a las 24 horas de fermentación (cuadro 3).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

1. Mediante la utilización de preparados microbianos a base de levaduras Levica 25 y *Saccharomyces cerevisiae*, se determinó un efecto significativo con relación al grupo control en cuanto a la reducción de la producción de gas total y gas metano *in vitro* de la digestión del pasto estrella; sin embargo, la utilización de Levica 25 produce un efecto más eficiente.
2. Mediante la aplicación de preparados microbianos a base de Levica 25 en la digestibilidad *in vitro* de líquido ruminal, se determinó una menor población de protozoos y bacterias metanogénicas, lo que favoreció al desarrollo de bacterias celulolíticas en el rumen.
3. El costo de la aplicación de preparados microbianos a partir de levadu-

| Variables                                                        | Horas de evaluación |       |        |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|--------|
|                                                                  | 8                   | 12    | 24     |
| Densidad de bacterias viables totales, 1x10 <sup>11</sup> UFC/mL | 65,00               | 74,80 | 158,50 |
| Densidad de protozoarios, 1x10 <sup>5</sup> especímenes/mL       | 12,25               | 10,50 | 8,00   |
| pH                                                               | 6,80                | 6,76  | 6,25   |

Fuente: Castañeda, 2008

Cuadro 3. Validación del efecto de preparados microbianos a base de *Saccharomyces cerevisiae* sobre la población microbiológica ruminal *in vitro*



ras en rumiantes mayores durante un año es de \$21,24, lo que corresponde a un costo diario de \$0,058/160 mL que deben ser ofertados diariamente a los rumiantes para disminuir el contenido de metanógenos del rumen e incrementar la densidad de bacterias celulolíticas.

4. En la validación realizada en Ecuador, se determinó que la utilización de un preparado microbiano a base de *Saccharomyces cerevisiae* en bovinos presenta resultados similares a los obtenidos en Cuba en cuanto a pH y densidad de bacterias viables totales y protozoarios.

Por ello, se recomienda:

1. Utilizar preparados microbianos a partir de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae* y Levica 25) en rumiantes mayores para disminuir la metanogénesis en el rumen y para incrementar la población de bacterias celulolíticas, que permitirán una mayor digestibilidad y aprovechamiento de los nutrientes de los pastos.
2. Realizar nuevas investigaciones para evaluar los niveles adecuados de suministro de preparados microbianos a base de levaduras, tanto en bovinos lecheros como en los de carne.
3. Divulgar los resultados obtenidos en la investigación a nivel de gobierno local y organizaciones de productores, a fin de adoptar tecnologías que permitan el incremento de la productividad utilizando compuestos orgánicos amigables con el medio.

## R eferencias

1. Gil SB. Sistema de producción de carne bovina: Engorde intensivo. Elementos que intervienen y posibles impactos en el medio ambiente; 2004.
2. Marrero Y. Las levaduras como mejoradoras de la fermentación ruminal de dietas con alto contenido de fibra. [Tesis doctoral]. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba; 2005.
3. Demeyer, D. L. y Fievez, V. 2000. Ruminants et environnement: la méthanogenèse. Ann. Zootech., 49: 94-112.
4. Theodorou, M. K, Williams, B. A., Dhanoa, M. S., Mcallan, A. B. y France, J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feed. Anim. Feed. Sci. Tech., 48: 185-197
5. Hungate R.G. 1970. The anaerobic, mesophilic cellulolytic bacteria. Bacterial: 112.
6. Caldwell DR y Bryant, MP. 1966. Medium without fluid for nonselective enumeration and isolation of rumen bacteria. Appl. Microbiol. 14(5): 794-801.
7. Galindo J. Efecto de la zeolita en la población de bacterias celulolíticas y su actividad en vacas que consumen ensilaje. [Tesis doctoral]. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba; 1988.
8. Orpin, C. 1983. The role of ciliate protozoa and fungi in the rumen digestion of plant cell walls. Anim. Feed Sci. Technol., 10:121-143.

# FIBONACCI Y LA RAZÓN ÁUREA

Dr. Baldovino Lamirata Carigli

Facultad de Ciencias, ESPOCH  
 baldovinol@hotmail.com

## Resumen

En el artículo se muestra que la relación existente entre los números de Fibonacci y la razón áurea es que la sucesión de las razones de dos sucesivos números de Fibonacci converge justo al valor de la razón áurea.

Además se justifica la importancia de la razón áurea por sus innumerables aplicaciones operadas tanto en la naturaleza misma como por el hombre.

**Palabras claves:** Números de Fibonacci, razón áurea

## Abstract

The article shows that the relationship between Fibonacci numbers and the golden section is that the sequence of ratios of two successive Fibonacci numbers converges fair value of the golden ratio.

It also justifies the importance of the golden section for countless applications operated by the very nature and by man.

**Keywords:** Fibonacci number, golden ratio

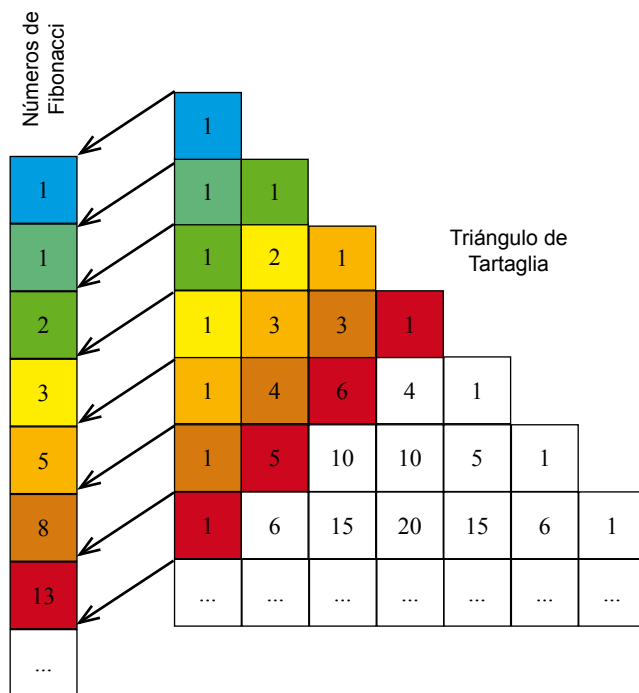


Figura 1. Números de Fibonacci frente Triángulo de Tartaglia

## INTRODUCCIÓN

En el artículo titulado “La Sucesión de Fibonacci” presentado en la revista *Nuestra Ciencia* n.º 8, de 2006, de la Facultad de Ciencias de la PUCE, aseveré que los números de Fibonacci y la razón áurea tienen mucho en común. Continué entonces esta reflexión, recomendando a los interesados leer aquel artículo; de manera que supongo conocidos los números de Fibonacci y algunas de sus propiedades, descritas allí.

### 1. LA SUCESIÓN DE LAS RAZONES $R_n$

Por comodidad del lector, se reportan los primeros términos de la sucesión de Fibonacci:

1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144...

Excepto por los dos primeros términos, resulta:  
no se necesita recordar los otros porque son la suma de los dos anteriores:

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}, \quad n > 2$$

Obsérvese que los números de Fibonacci también se pueden construir empleando el Triángulo de Tartaglia, como se muestra en la figura 1.

Construyamos ahora las razones entre un término y el siguiente:

$$1 \frac{1}{2} \frac{2}{3} \frac{3}{5} \frac{5}{8} \frac{8}{13} \frac{13}{21} \frac{21}{34} \frac{34}{55} \frac{55}{89} \frac{89}{144}$$

cuyo valor en notación decimal es:

$$1 \quad 0,5 \quad 0,6 \quad 0,625 \quad 0,615... \\ 0,619... \quad 0,617... \quad 0,6188... \quad 0,6179... \\ 0,61805...$$

Estas razones tienden a estabilizarse alrededor de un valor poco superior a 0,6. Encontremoslo.

Hay una fórmula recursiva para generar las fracciones. Indiquemos por  $R_{n+1}$  la razón entre el número (n+1)-ésimo y el (n+2)-ésimo de Fibonacci; se cumple:

$$R_{n+1} = \frac{F_{n+1}}{F_{n+2}} = \frac{F_{n+1}}{F_{n+1} + F_n} = \frac{1}{\frac{F_{n+1} + F_n}{F_{n+1}}} = \\ \frac{1}{1 + \frac{F_n}{F_{n+1}}} = \frac{1}{1 + R_n}$$

Al poner:

$$\begin{cases} R_0 = 1 \\ R_{n+1} = \frac{1}{1 + R_n} \end{cases}$$

$$R_0 = 1, \quad R_1 = \frac{1}{1 + R_0} = \frac{1}{1 + 1}$$

$$R_2 = \frac{1}{1 + R_1} = \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + 1}}, \quad R_3 = \frac{1}{1 + R_2} = \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + 1}}}$$

Se genera una fracción continua<sup>1</sup> que converge al límite de las razones entre los sucesivos números de Fibonacci. El número a así definido:

$$a = \frac{1}{1 + a}$$

genera por sustitución repetida la siguiente fracción continua:

$$a = \frac{1}{1 + a} = \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + a}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + a}}} = \dots$$

y por supuesto es el límite de la fracción misma. Ahora bien, esta fracción continua converge al mismo valor de la sucesión de las razones  $R_i$  y por tanto a es el límite de las razones entre los sucesivos números de Fibonacci:

$$a = \lim_{n \rightarrow \infty} R_n$$

El valor a se calcula en el modo siguiente. Se cumple:

$$a(1 + a) = 1$$

luego:

$$a^2 + a - 1 = 0$$

1. Es decir, una expresión que en general tiene la forma:

$$a_0 = \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \frac{1}{\dots}}}}$$

siendo los  $a_i$  enteros positivos.

luego:

$$a = \frac{-1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

Por ser  $a$  el límite de una sucesión de términos positivos, su valor no puede ser negativo, luego queda la sola solución positiva:

$$a = \frac{\sqrt{5} - 1}{2} \quad (1)$$

## 2. LA RAZÓN ÁUREA

Existe un rectángulo tan armónico que se merece el calificativo de “áureo”: es el que tiene las medidas de los lados en una razón especial, indicada por  $\phi$ , la inicial del artista ateniense Fidias, que vivió en el siglo V antes de Cristo.

El rectángulo aparece en las construcciones griegas que se consideran “bellas”, como el Partenón en Atenas y el templo de Poseidón en Phestum, como también en las esculturas y en la naturaleza.

La razón áurea  $\phi$  es la media proporcional entre un segmento y la parte que queda.

Se construye de la manera siguiente. Dado el segmento  $AB$ , se traza la circunferencia de diámetro igual a  $AB$  y tangente al segmento en  $B$ , luego se traza la secante por  $A$  y por el centro  $C$  de la circunferencia:

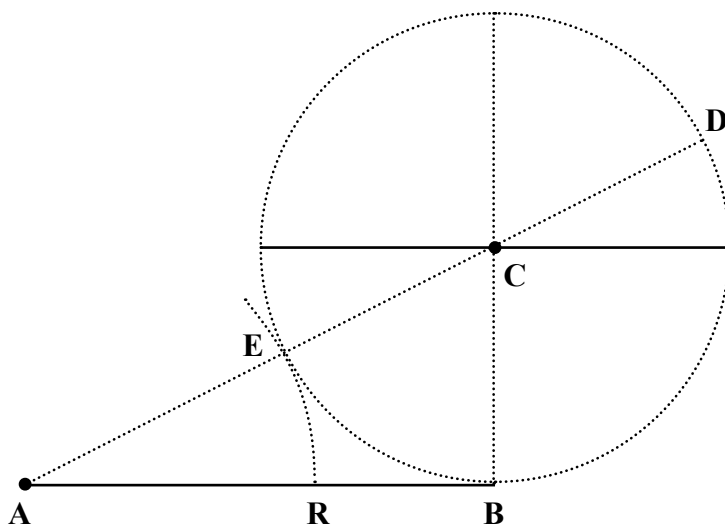


Figura 2. Construcción de la razón áurea

Se prueba que  $AB$  es la media proporcional entre toda la secante  $AD$  y la parte externa  $AE$ :

$$AD : AB = AB : AE.$$

y por tanto:

$$(AE + ED) : AB = AB : AR.$$

Sigue:

$$(AE + ED - AB) : AB = (AB - AR) : AR \\ \rightarrow AR : AB = RB : AR \rightarrow AB : AR = AR : RB$$

luego  $AR$  es la razón áurea de  $AB$ . Por ende, el siguiente es un rectángulo áureo:

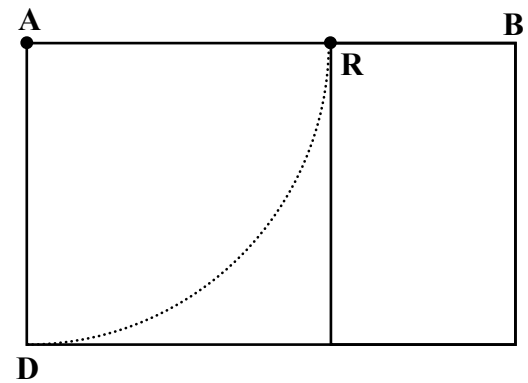


Figura 3. Rectángulo áureo

Si se asume igual a 1 la medida del segmento  $AB$ , es:

$$1 : \phi = \phi : 1 - \phi.$$

Sigue:

$$\phi^2 = 1 - \phi$$

luego:

$$\phi^2 + \phi - 1 = 0.$$

Por (1), el número positivo que soluciona a esta ecuación es  $\frac{\sqrt{5} - 1}{2}$

Por ende:

$$\phi = \frac{\sqrt{5} - 1}{2}$$

Por ende, el rectángulo áureo de base

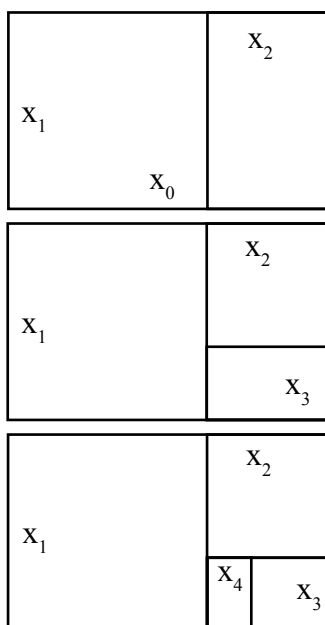
AB tiene altura  $AD = \frac{\sqrt{5} - 1}{2} AB$ .

Y aquí el nexo entre los números de Fibonacci y la razón áurea:

**La sucesión de las razones  $R_n$  de los números de Fibonacci converge a la razón áurea  $\phi$ .**

Otra característica: considérese un rectángulo de medidas  $x_0$  y  $x_1$ , con  $x_1 < x_0 < 2x_1$ . Entonces se puede trazar en el interior del rectángulo un cuadrado de lado de longitud  $x_1$  y queda un rectángulo de lado mayor de longitud  $x_1$  y de lado menor de longitud  $x_2 = x_0 - x_1$ .

Si  $x_2 < x_1 < 2x_2$ , se puede trazar en el interior del segundo rectángulo un cuadrado de lado de longitud  $x_2$  y queda un rectángulo de lado mayor de longitud  $x_2$  y de lado menor de longitud  $x_3 = x_1 - x_2$ . Si  $x_3 < x_2 < 2x_3$ , se puede trazar en el interior del tercer rectángulo un cuadrado de lado de longitud  $x_3$  y queda un rectángulo de lado mayor de longitud  $x_3$  y el menor de longitud  $x_4 = x_2 - x_3$ .



Generalmente este proceso de construcción de rectángulos y cuadrados acaba. ¿Hay un valor de la razón entre las medidas del rectángulo dado:  $x_0/x_1$ , por el cual el proceso no tenga fin?

Obtengamos una expresión recursiva de  $x_n$ . Considérense las dos soluciones de la ecuación  $a^2 + a - 1 = 0$ , que como ya sabemos son:

$$a_1 = \frac{\sqrt{5} - 1}{2} < 1, \quad a_2 = \frac{\sqrt{5} - 1}{2} < -1$$

y el sistema en las incógnitas X, Y:

$$\begin{cases} X + Y = x_0 \\ a_1 X + a_2 Y = x_1 \end{cases}$$

cuyas soluciones son:

$$X = \frac{x_0 a_2 - x_1}{a_2 - a_1}, \quad Y = \frac{x_1 - x_0 a_1}{a_2 - a_1}$$

Como  $1 - a_1 = 1 - \frac{\sqrt{5} - 1}{2} = \frac{3 - \sqrt{5}}{2}$ ,  $(a_1)^2 =$

$$\left(\frac{\sqrt{5} - 1}{2}\right)^2 = \frac{3 - \sqrt{5}}{2}, \text{ se cumple:}$$

$$1 - a_1 = (a_1)^2$$

y como  $1 - a_2 = 1 + \frac{\sqrt{5} + 1}{2} = \frac{3 + \sqrt{5}}{2}$ ,  $(a_2)^2 =$

$$\left(\frac{\sqrt{5} + 1}{2}\right)^2 = \frac{3 + \sqrt{5}}{2}, \text{ se cumple:}$$

$$1 - a_2 = (a_2)^2$$

Luego:

$$x_0 = X + Y = a_1^0 X + a_2^0 Y$$

$$x_1 = a_1 X + a_2 Y = a_1^1 X + a_2^1 Y$$

$$x_2 = x_0 - x_1 = X + Y - a_1 X - a_2 Y = (1 - a_1)X + (1 - a_2)Y = a_1^2 X + a_2^2 Y$$

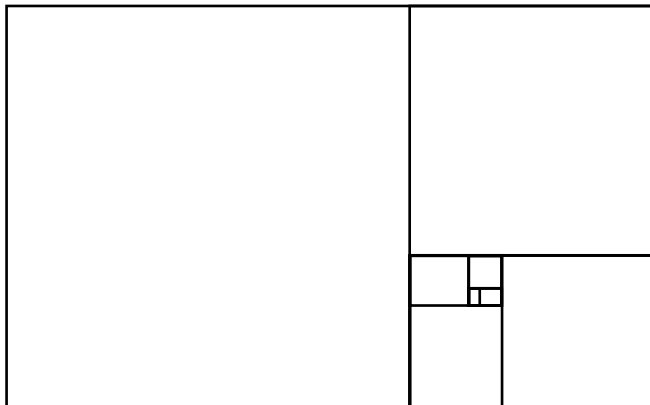
$$x_3 = x_1 - x_2 = a_1X + a_2Y - a_1^2X - a_2^2Y = (a_1 - a_1^2)X + (a_2 - a_2^2)Y = a_1^3X + a_2^3Y$$

...

$$x_n = x_{n-2} - x_{n-1} = a_1^{n-2}X + a_2^{n-2}Y - a_1^{n-1}X - a_2^{n-1}Y = (a_1^{n-2} - a_1^{n-1})X + (a_2^{n-2} - a_2^{n-1})Y = a_1^nX + a_2^nY$$

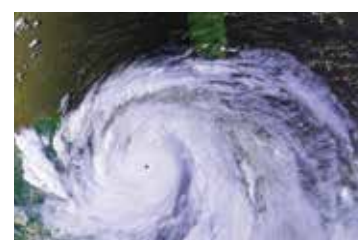
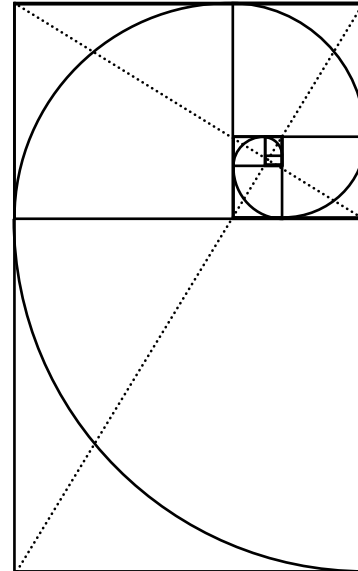
...

Para que el proceso de recorte sea infinito, los  $x_n$  tienen que seguir siendo positivos. Ellos son iguales a la suma  $a_{1n}X + a_{2n}Y$  de la cual el primer sumando siempre es positivo y menor que  $X$ , el segundo es alternativamente positivo y negativo según el valor de  $n$ , mayor que  $Y$  y creciente en valor absoluto con  $n$ . Entonces para que los  $x_n$  sean todos positivos, debe ser  $Y = 0$ , luego debe ser  $x_1 = a_{11}X = a_1x_0$ , esto es, la altura del rectángulo debe ser la razón áurea de la base, o sea el rectángulo debe ser áureo.



Una última nota. ¿Por qué a la razón áurea se la llama así? Hasta la llamaron “la divina proporción”. Es que ella está presente en muchas obras de la naturaleza y del hombre. Vimos que a partir de un rectángulo áureo, recortando un cuadrado de lado igual al lado menor, se obtiene un rectángulo más pequeño similar al primero, luego áureo; del cual recortando un cuadrado de lado igual al lado menor, se obtiene un tercer rectángulo aun más pequeño, similar a los anteriores, luego áureo; y así sucesivamente. Asimismo, construyendo sobre el lado mayor del primer rectángulo un cuadrado, este determina con el primer rectángulo áureo todavía un rectángulo áureo, sobre el cual operando de manera análoga se obtiene todavía un rectángulo áureo más grande, y así sucesivamente. Ahora, construyendo los rectángulos siempre de la misma parte, los puntos de corte  $a, b, d, e, f, g, h, \dots$  pertenecen a una espiral logarítmica, con el polo punto de intersección de la diagonal común a los rectángulos horizontales con la diagonal común a los rectángulos verticales. Esta espiral logarítmica especial se llama espiral áurea.

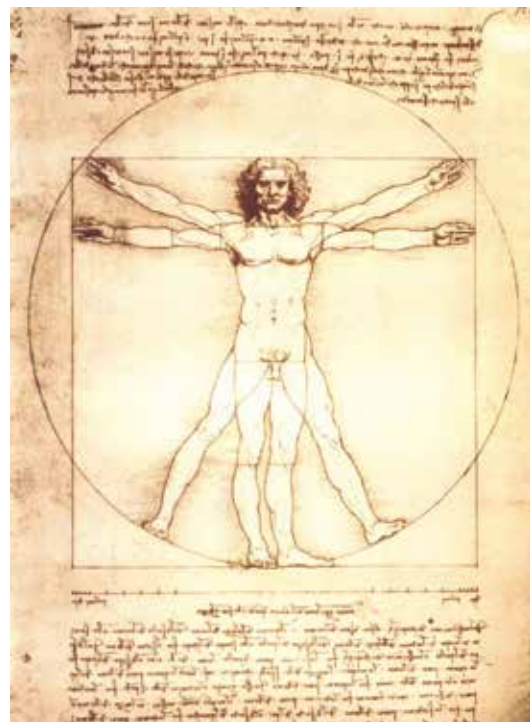
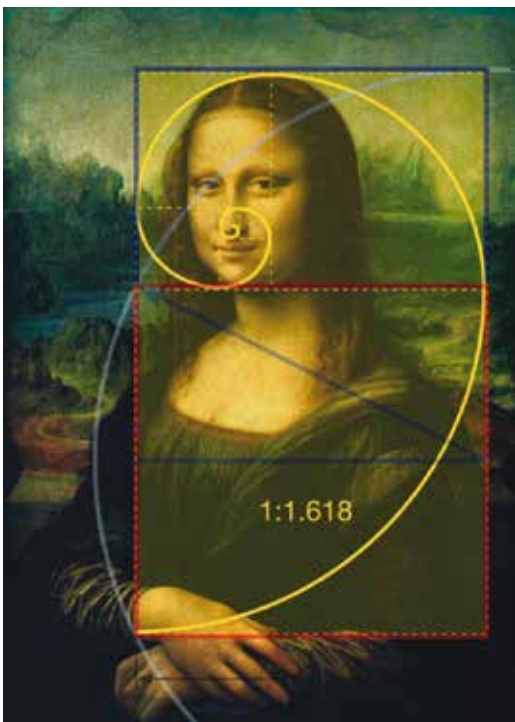
Se construye una parte conectando los vértices opuestos de todos los cuadrados obtenidos mediante arcos de circunferencia. Es una de las espirales arquetipo de galaxias, formaciones huracanadas, conchas:



Asimismo, si contamos las hojas sucesivas de un tallo hasta encontrar una con la misma orientación de la primera, el número que se obtiene es un número de Fibonacci. Finalmente, la razón áurea está presente en muchas obras arquitectónicas y en el arte, como demostración de que los grandes artistas conocen la Geometría:

## RECOMENDACIONES

En la Red hay muchos sitios que hablan acerca de la sucesión de Fibonacci y de la razón áurea. Para ampliar o profundizar estas notas, se recomienda a estudiantes, arquitectos, profesionales de la imagen visitar los sitios que aparecen en la bibliografía.



### Bibliografía complementaria

1. Corbalán F. La Proporción Áurea. RBA Coleccionables S. A.; 2010.
2. Ghyka M. El número de Oro. I Los Ritmos. II Los Ritos. Madrid, España: Ediciones Apóstrofe, S. L.; 2006.
3. Ghyka M. La Divina Proporción. Tres Cantos. Ediciones Akal, S. A.; 1991.

## INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

### Temática y difusión.

PERFILES (ISSN 1390-5740) es una revista científica publicada por la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Riobamba, Ecuador) con **periodicidad semestral**, cuya misión es difundir la información científico-tecnológica relacionada con las áreas del conocimiento predominantes en nuestra institución y ramas afines. El principal objetivo de la revista es la publicación de artículos originales o de revisión, comunicaciones breves, informes técnicos, normas, especificaciones, cartas al editor, comunicaciones a congresos y, en definitiva, otros contenidos que resulten de interés para la comunidad científica.

### Áreas temáticas

- Física Aplicada
- Química Aplicada
- Matemática Aplicada
- Estadística Aplicada
- Energías Alternativas
- Ciencias Ambientales
- Biotecnología
- Fitofarmacia
- Enfermedades Infecciosas
- Nutrición y Bromatología
- Bioquímica
- Industria Farmacéutica
- Atención Farmacéutica
- Farmacología y Toxicología

### Presentación y estructura de los manuscritos

#### *Página web*

La revista PERFILES dispone de página web, donde se encuentran disponibles todos los formatos referidos en el presente texto:

[http://iner.esPOCH.edu.ec/Revista\\_Cientifica/Index.html](http://iner.esPOCH.edu.ec/Revista_Cientifica/Index.html)

#### *Política de autoría y exclusividad*

Los artículos deben de ir acompañados de un documento firmado por todos los coautores, o en su defecto mediante fir-

ma de representación del autor principal, donde se incluya:

- Declaración de autoría firmada por autor principal y coautores que han intervenido en la planificación, ejecución, obtención de datos, interpretación de resultados, así como en su redacción y revisión. Nombre, apellidos, dirección, teléfono, fax y correo electrónico del autor de contacto —en el apartado autores del cuerpo del manuscrito se diferenciará mediante el símbolo \* precediendo al nombre—, y nombre, apellidos y correo electrónico de los coautores.
- Consentimiento del autor principal y coautores sobre el carácter original los contenidos del artículo, y de no incurrir en delito de plagio.
- Consentimiento informado de que el Grupo Editorial de la revista PERFILES se reserva los derechos de autor (Copyright) de los manuscritos recibidos y aceptados para su publicación.

El mencionado formato se encuentra disponible en la página web de la revista PERFILES bajo el título DECLARACIONES UNIFICADAS.

#### *Normas generales sobre la estructura del artículo*

Los manuscritos serán enviados on-line en formato DOC o DOCX de Microsoft Word®. Se utilizarán páginas tipo A4 con formato por defecto de márgenes (2,5 superior e inferior, y 3 derecho e izquierdo). Interlineado: 1,5 líneas. Tipo de fuente: Times New Roman tamaño 12 para el texto general, y 14 negrita para títulos y subtítulos contenidos en el texto. Los contenidos adicionales —tablas, figuras, gráficos— se enviarán en un documento independiente identificados como Tabla 1, Tabla 2, Figura 1, Gráfico 1, etc. Al final de dicho documento de incluirán las leyendas identificadas del mismo modo para que quede clara su equivalencia con las tablas, figuras y gráficos adjuntos. La extensión de cada artículo deberá estar entre 5 y 10 páginas.

#### *La primera página debe contener*

1. Título completo del artículo. Deberá ser claro y conciso (máximo 18 palabras). El título será representativo del contenido del manuscrito. Tipo de fuente: Times New Roman tamaño 16 (negrita). Máximo 20 palabras.
2. Nombres completos de autor y otros coautores. Los nombres de los autores se escribirán en minúsculas con la primera letra en mayúscula. Los nombres y apellidos compuestos se unirán mediante un guión (Ej. Jesús-Javier). Cada autor irá precedido de un número en superíndice que se identificará con la institución



de pertenencia o correspondiente afiliación. Tipo de fuente: Times New Roman tamaño 14.

3. Resumen o abstract en español e inglés. De 150 a 200 palabras. Resumirá el marco teórico que justifica el trabajo realizado, objetivos bien definidos, métodos empleados, resultados y principales conclusiones.
4. Palabras clave. Máximo 6 palabras que definan los puntos más importantes del trabajo.

#### *Elementos principales del manuscrito*

**Introducción.** Su función es identificar el marco teórico del tema tratado, que será contextualizado con el fenómeno investigado para determinar los objetivos generales y específicos del trabajo. No debe contener excesivas referencias bibliográficas ni abreviaturas.

**Material y métodos.** Este apartado debe informar de toda la metodología y materiales experimentales utilizados. Al mismo tiempo permitirá que el ensayo sea reproducible en las mismas condiciones que las indicadas por los autores. Si se ha recurrido a procedimientos diseñados y publicados por otros autores, deberán citarse dichas publicaciones.

**Resultados.** Contiene toda la información relativa a los hallazgos obtenidos, una vez aplicados los métodos estadísticos (en caso de necesidad). Puede incorporar tablas, diagramas, o cualquier otro elemento adicional que amplíe y/o facilite la presentación de los resultados.

**Discusión.** Análisis en profundidad de los datos obtenidos, comparándolos con los de otros autores. En este apartado se deben debatir los resultados más novedosos e importantes, su contribución, aplicabilidad, etc.

**Conclusiones.** Respuestas claras, directas y concisas a las preguntas u objetivos iniciales del estudio. Puede incluir propuestas de nuevas líneas de investigación basadas en los resultados discutidos o nuevas hipótesis, siempre que estén bien sustentadas por los resultados.

**Agradecimientos.** Personas o instituciones que han contribuido de alguna forma en la

investigación o redacción del texto, ya sea mediante financiación, aportación de conocimientos o actividad investigadora.

**Conflicto de intereses.** Indicar si existen intereses particulares por parte de los autores o de la entidad científica que pudiesen afectar directa o indirectamente a los resultados.

**Referencias bibliográficas.** Tanto en el texto (citas) como en la bibliografía la referenciación debe cumplir con los estándares del Comité Internacional de Directores de Revistas Médicas (CIDRM) o Estilo Vancouver. La incorporación de bibliografía gris o contenidos de dudosa procedencia o calidad científica (en especial de origen web) será considerada un error grave y motivo de rechazo de la propuesta de publicación. Las publicaciones utilizadas en la bibliografía deberán pertenecer a revistas indexadas con su correspondiente identificador: DOI (Digital Object Identifier), **ISBN (International Standard Book Number)** o **ISSN (International Standard Serial Number)**. Para facilitar la revisión de estos elementos por parte de los autores, hemos puesto a su disposición una tabla con los PUNTOS DE CONTROL AUTORES más importantes, o *checklist*.

#### **Estilo Vancouver adaptado a la revista PERFILES. Resumen**

**Dada la política de referenciación de la revista PERFILES, a continuación sólo se explican aquellas referencias permitidas por la revista.**

Referenciación de las citas dentro del texto:

Las referencias deben ir numeradas por orden de aparición con números arábigos y entre paréntesis.

*Ejemplo:* El principal efecto de los IMAO es la inhibición de la monoamino oxidasa (1), una enzima implicada en la degradación de neurotransmisores (2)...

Si en la misma cita se incluyen más de una referencia, éstas irán juntas entre paréntesis y separadas por comas. Si estas referencias son consecutivas, se pueden unir la primera y última mediante un guión, prescindiendo de las centrales.

*Ejemplo:* El principal efecto de los IMAO es la inhibición de la monoamino oxidasa (1,4,7), una enzima implicada en la degradación de neurotransmisores (2-5,7)...

Los autores de la revista PERFILES pueden decidir si desean firmar sus publicaciones con uno o dos apellidos, siempre que en el segundo caso estos vayan unidos mediante guión: Morales-López M, Yuste-Brioso E.

### Redacción de las referencias bibliográficas:

En el apartado bibliografía o referencias, los artículos empleados aparecerán en el mismo orden que en el texto principal y precedidos de un número arábigo que indicará dicho orden de aparición.

*Ejemplo:*

El principal efecto de los IMAO es la inhibición de la monoamino oxidasa (1), una enzima implicada en la degradación de neurotransmisores (2)...

En el ejemplo que venimos utilizando la bibliografía se escribiría:

1. Cáceres-Morales JM. 2003...
2. Chozas G, Prieto-Rodríguez F. 2000...

### Libros:

Autor/es (en orden de aparición). Título. Volumen. Edición. Lugar de publicación: Editorial; año.

*Ejemplo:* Morales F, Francis RD, Moreira J. Guía práctica de diagnóstico de laboratorio. Vol 2. 13ª ed. Madrid: McGraw Hill; 2006.

### Capítulos de libros:

Autor/es del capítulo (en orden de aparición). Título del capítulo. En: Director/ coordinador/ Editor literario del libro. Título del libro. Volumen. Edición. Lugar de publicación: Editorial; año. p. Página inicial de capítulo-página final de capítulo.

*Ejemplo:* Robert T, Hobbs DG. Alteraciones clínicas más comunes en la encefalopatía espongiiforme bovina. En: Furiase R, Falconi HM, editores. Enfermedades bovinas frecuentes. Vol 3. 14ª ed. México: McGraw-Hill; 2010. p. 203-245.

### Artículos de revistas:

Autor/es del artículo (un máximo de 6 autores en orden de aparición, a partir del sexto autor se escribe "et al."). Año. Título del artículo. Abreviatura de la revista. Volumen (sin Vol., sólo el número): páginas.

*Ejemplo 1:* Romero C, Barón SD, Morales M, Pazmiño JR, Figueroa B, Fernández F, et al. 2012. Estudio epidemiológico de la leishmaniosis en el sur de Almería. J Parasitol. 3: 14-18.

Si los autores son menos de 6, se escriben todos.

*Ejemplo 2:* Romero C, Barón SD, Morales M. 2012. Estudio epidemiológico de la leishmaniosis en el sur de Almería. J Parasitol. 3: 14-18.

Si el autor es una organización, escribiremos el nombre de la organización en el lugar donde aparece el autor/es.

*Ejemplo:* Organización Mundial de la Salud. 2012. Estudio epidemiológico de la leishmaniosis en el sur de Almería. J Parasitol. 3: 14-18.

Cuando lo que citamos es el suplemento de un volumen de una revista, se indica después del volumen:

*Ejemplo:* Romero C, Barón SD, Morales M, Pazmiño JR, Figueroa B, Fernández F, et al. 2012. Estudio epidemiológico de la leishmaniosis en el sur de Almería. J Parasitol. 3 Suppl 1: 14-18.

Si estamos citando una revista que no tiene número ni volúmenes, se indicarán las páginas.

*Ejemplo:* Romero C, Barón SD, Morales M, Pazmiño JR, Figueroa B, Fernández F, et al. 2012. Estudio epidemiológico de la leishmaniosis en el sur de Almería. J Parasitol. 14-18.

### Artículos de revistas disponibles en Internet:

Debe indicarse entre corchetes después del nombre de la revista [Internet] y después del año [fecha de consulta]. Al final se indica "Disponible en: URL"

*Ejemplo:* Morales M, Pazmiño JR. Estudio epidemiológico de la leishmaniosis en el sur de Almería. J Parasitol [Internet]. 2012 [citado 14 Enero 2004]; 3: 14-18. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/...>

### Libros o monografías disponibles en Internet:

Autor/es. Título. [Internet]. Edición. Lugar de publicación: Editorial; fecha de publicación. [fecha de última actualización; fecha de consulta]. Disponible en: URL.

*Ejemplo:* Morales M. Instituciones públicas y su dirección. [Internet]. 53ª

ed. Barcelona: Alba Editorial; 2006 [actualizado 12 Enero 2010; citado 14 Enero 2014]. Disponible en: <http://www.albaeditorial.com/science/book/pii/...>

#### Página web de una sede oficial:

Sede Web [Internet]. Lugar de publicación: Editor; Fecha de comienzo [fecha de última actualización; fecha de consulta]. Páginas [o pantallas aproximadas]. Disponible en: URL.

*Ejemplo:* Portal andaluz de economía [Página principal en Internet], Andalucía: Moreira F; 2007 [actualizada en febrero de 2011; acceso 16 febrero 2011]. [aprox. 3 pantallas]. Disponible en: <http://www.mnec.gob.es/>

#### Programas informáticos:

Autor/es. Título [programa informático en “tipo de soporte”]. Versión del producto. Lugar: Empresa que lo ha fabricado o programado; año.

*Ejemplo:* Núñez R. Gestión integral de auditorías internas [programa informático en CD-ROM]. Versión 4.0. Quito: Núñez Entertainment; 1995.

#### Base de datos:

Autor/es. Título [base de datos en “tipo de soporte”]. Edición. Lugar: Empresa que lo ha fabricado o programado; año.

*Ejemplo:* Núñez R. Datos generales sobre demografía ecuatoriana [base de datos en CD-ROM]. 3ª Ed. Quito: Núñez Databases; 1995.

#### Actas de congresos o eventos:

Editor/es. Título del trabajo. Título del congreso; fecha del congreso; lugar del congreso. Lugar de publicación: editor; fecha.

*Ejemplo:* Hoffern G, Longer TG, editores. Papel de las células hepáticas en el estudio de los tumores. X Congreso

Ibérico del Cáncer; 2004 Sep 12-18; Madrid. Barcelona: Springer; 2005.

#### Ponencias en congresos:

Autor/es. Título del trabajo. En: Editor/es. Título de la obra. Título del congreso; fecha del congreso; lugar del congreso. Lugar de la publicación: editor; fecha. Páginas.  
*Ejemplo:* Hoffern G, Longer TG. Papel de las células hepáticas en el estudio de la leishmaniosis. En: Morales M, Morillas F, editores. Parasitosis más frecuentes en la Península Ibérica. X Congreso Ibérico de Parasitología; 2004 Sep 12-18; Granada. Madrid: Springer; 2005. p. 236-240.

#### Tesis doctorales (tesis de posgrado o PhD.):

Excepcionalmente se admitirán tesis de posgrado con contenidos de gran relevancia sobre los temas tratados y resultados o conclusiones de tal originalidad que no puedan encontrarse entre los artículos disponibles en la web u otros medios físicos.

Autor/es. Título de la tesis [tesis doctoral]. Lugar de publicación: editor; fecha.

*Ejemplo:* Fernández-Ruiz L. Estudio de la actividad antimicrobiana de aceites esenciales [tesis doctoral]. Riobamba: ESPOCH; 2008.

#### Informes de patentes:

Autor/es, inventor/es; titular de la patente, asignado. Título de la patente. País de expedición de la patente código del país número de la patente. Fecha de publicación.

*Ejemplo:* Morales-Martínez J, Navarro f, inventores; Navarro Research SL, asignado. Producto antimicrobiano obtenido del aceite esencial de Thymus vulgaris. Spanish patent ES 2536941. 2009 Mar 3

#### Otros tipos de publicaciones aceptadas:

Artículos de revisión. La estructura de las revisiones se adaptará a los contenidos y temática abordados, no siguiendo la estructura de los artículos originales (comentada en el anterior apartado). El número de referencias debe ser muy superior al de los artículos originales (entre 60 y 100 citas), de modo que todos temas desarrollados tengan suficiente fundamento bibliográfico como para justificar los datos presentados. La extensión de este tipo de documentos se situará entre 10 y 20 páginas.

Comunicaciones o artículos breves, comunicaciones a

**congresos o seminarios.** La estructura de este tipo de manuscritos será igual o similar a la de los artículos originales, diferenciándose solo en la extensión de los trabajos: máximo 3 páginas. En el caso de los informes técnicos, podrán llegar a 5 páginas, y su estructura podrá variar de la del artículo original en función de los contenidos. En este tipo de publicaciones el material adicional (tablas, artículos, gráficos, etc.) estará limitado a 4 elementos.

**Cartas al editor.** Estos textos se caracterizarán por contener información puntual de interés general relacionada con las líneas temáticas de la revista o con la propia comunidad científica, así como reflexiones o correcciones de algún artículo publicado en volúmenes anteriores. El número máximo de páginas para estos trabajos será de 1,5 a 2.

### **Selección, revisión y corrección de los manuscritos.**

#### *Criterios de evaluación inicial*

Los manuscritos recibidos serán sometidos a una valoración inicial por parte del equipo editorial atendiendo a los siguientes criterios:

- Orden de recepción. Los artículos serán incorporados al proceso de validación en estricto orden de entrada. Esta premisa se respetará a menos que su contenido o relevancia justifiquen el ingreso inmediato.
- Originalidad. Las producciones científicas con alto grado de originalidad tendrán prioridad. Un trabajo será considerado original cuando favorezca la ampliación del conocimiento en campos no cubiertos por trabajos anteriores.
- Extensión de su aplicación. Las publicaciones con resultados de utilidad e impacto internacional prevalecerán sobre aquellas cuyo contenido sea aplicable en regiones concretas o más restringidas.
- Grado de aplicación. Los artículos cuyas conclusiones permitan solucionar de forma directa problemas actuales y/o proporcionen mejoras en la calidad de vida predominarán sobre los que aporten contenidos más abstractos o menos productivos para la colectividad.
- Metodología. Se valorará que la metodología experimental del artículo cumpla con los requisitos mínimos exigidos por la comunidad científica.
- Redacción. Los textos que cumplan con los estándares de calidad en redacción científica serán seleccionados antes que aquellos que comporten observaciones y/o solicitudes de reedición por parte del Comité Editorial.

#### *Recomendaciones de redacción:*

- La sintaxis utilizada debe ser concisa y directa. Evitar giros y redundancia de información. No utilizar complementos estéticos de la escritura más propios del

arte literario que de la comunicación científica.

- Adecuada estructura y organización de contenidos. La lectura debe seguir una secuencia lógica y comprensible.
- Uso y redacción correcta de las unidades de medida. En lo posible deben utilizarse unidades del Sistema Internacional (S.I.). En aquellos casos en los que el trabajo demande la utilización de otros sistemas alternativos (anglosajón, imperial, cegesimal, etc.) se recomienda que los resultados incluyan la equivalencia en el S.I.
- No abusar del uso de abreviaturas. Las abreviaturas deberán identificarse entre paréntesis () junto al término original, la primera vez que aparezcan en el texto. Evitar el uso de abreviaturas en el título.
- Las referencias se ajustarán a las normas establecidas por el Comité Editorial de la revista PERFILES (estilo Vancouver). Citar en la medida de lo posible artículos publicados en revistas —impresas o en formato digital— y evitar la referenciación directa de páginas web o cualquier bibliografía de dudosa calidad o procedencia.

Estos elementos deberán ser verificados de forma detallada por el/los autor/es de las publicaciones antes de su presentación al Comité Editorial de la revista PERFILES.

#### *Niveles de corrección*

El equipo editorial de la revista PERFILES considera tres niveles de edición y/o correcciones en los contenidos:

- Correcciones mínimas. Son pequeños errores que pueden solucionarse de forma rápida y sencilla, y que no interfieren de forma significativa con el proceso de edición.
- Correcciones de contenido. Implican la realización de modificaciones relevantes en el texto antes de que el manuscrito continúe con el proceso editorial, en caso de ser aceptadas por el autor. El revisor deberá justificar

dichas modificaciones mediante un escrito dirigido al Comité Editorial.

- Correcciones mayores. Cuando la cantidad de observaciones indicadas es tal que el artículo es devuelto en su totalidad sin posibilidad de edición. Queda a juicio del autor la decisión de reescribir el documento antes de volver a presentarlo.

#### *Sobre la revisión*

Desde el grupo editorial de la revista PERFILES queremos destacar la importancia de principios como la calidad de expresión, propiedad intelectual y rigor científico. Estos elementos son requisitos indispensables en una actividad profesional que evoluciona y se actualiza de forma constante. Para mantener estos estándares de calidad, hemos establecido varias etapas de intervención o examen de los manuscritos recibidos:

1. Verificación inicial de que el trabajo cumple con todos los puntos de control establecidos por el cuerpo editorial.
2. Análisis de similitudes con textos ya existentes como medida de vigilancia antiplagio.
3. Revisión preliminar de los contenidos del texto.
4. Si el Consejo Editorial presenta una valoración positiva, el proceso de edición continúa. En caso negativo, se informará al autor sobre los motivos de tales conclusiones.
5. Envío a dos revisores designados por el Comité Editorial de forma anónima —revisión por pares—. Los revisores expondrán un juicio profesional, crítico y constructivo sobre los aspectos valorados que será notificado al/los autor/es en caso de necesidad. Los revisores será miembros externos seleccionados con base en su conocimiento sobre la temática revisada.
6. Exploración definitiva por parte del Editor General orientada a cuestiones puntuales de la presentación como son la gramática, ortografía, abreviaturas, signos, símbolos, unidades, etc.







ACREDITADA