



Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad
e-ISSN: 2007-3607
Universidad de Guadalajara
Sistema de Universidad Virtual
México
suv.paakat@redudg.udg.mx

Año 8, número 15, septiembre 2018-febrero 2019

Conocimientos, caos y orden en el contexto de las TIC dentro de la sociedad de la información y del conocimiento

Knowledge, Chaos and Order into ITCs Context within Information and Knowledge Society

José Ramón del Valle González*

Universidad San Ignacio de Loyola, Escuela de Postgrado. Lima, Perú

Alejandro Cruzata-Martínez**

Universidad San Ignacio de Loyola, Escuela de Postgrado. Lima, Perú

Joel Alhuay-Quispe***

Universidad San Ignacio de Loyola, Vicerrectorado de Investigación. Lima, Perú

[Recibido 18/02/2018. Aceptado para su publicación 6/06/2018]
DOI: <http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a8n15.328>

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo exponer algunas ideas sobre el uso de los fractales dentro de los sistemas no deterministas como fenómenos aleatorios. El análisis ofrece argumentos para afirmar que los fractales tienen aplicación diversificada en varios campos del conocimiento, y que el estudio de los atractores y las causas aleatorias tienen un importante papel en las investigaciones científicas actuales. Las ideas expuestas en este artículo pueden ser empleadas en la docencia universitaria para una mejor comprensión por estudiantes y profesores de los sistemas dinámicos que entran en toda investigación.

Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad

Año 8, núm. 15, septiembre 2018-febrero 2019, e-ISSN: 2007-3607

Palabras clave

Sistemas deterministas; fractales; sociedad del conocimiento.

Abstract

This article is aimed at exposing some ideas on the use of fractals in the nondeterministic systems as random phenomena. The analysis offers arguments to state that fractals have diversified application in many fields of knowledge and that the study of attractors and the random causes play an important role in current scientific research works. The ideas exposed in this article can be used in the university teaching for the students and professors to better understand the dynamic systems involved in every research work.

Keywords

Deterministic system; fractals; Knowledge society.

Introducción

En el siglo XVIII el matemático francés Pierre Simón Laplace, influenciado por los descubrimientos de Galileo, entre otros, afirmaba: "Si se conociera la velocidad y la posición de todas las partículas del Universo en un instante dado, se podría predecir su futuro por el resto de los siglos" (citado por Guzmán Hennezzey, 2010, p. 59). Sin embargo, el hombre, al enfrentarse a diversos fenómenos naturales y sociales, pudo percatarse de hechos impredecibles que resultaron más abundantes y variados a medida que se fueron desarrollando el conocimiento y la humanidad.

En nuestra época, desde hace relativamente poco tiempo, gran parte de la comunidad científica ha comenzado a investigar sobre caos, desorden, entropía y, últimamente, a partir de los trabajos del matemático polaco Mandelbrot, se han incorporado los "fractales" (Braun, 1996). Consideramos que al desarrollarse vertiginosamente la tecnología en lo que muchos han llamado "sociedad del conocimiento", los nuevos conceptos están destinados a hallar respuestas para despejar estos fenómenos y hechos impredecibles y nutrir esa sociedad del conocimiento. Es nuestro propósito resumir en breves cuartillas algunas ideas esenciales al respecto.

Los deterministas y los no deterministas

De acuerdo con la afirmación de Laplace, los deterministas en su definición categórica reducían el conocimiento a todo lo predecible. Es decir, al conocer las condiciones iniciales todo podría predecirse con el paso del tiempo. Así, si estudiamos la dilatación de un puente de acero u otro material a temperatura ambiente (27°C) podríamos determinar su nueva longitud cuando en verano haya una temperatura de 40°C al sol con la sencilla ecuación:

$$\Delta l = \alpha L_i \Delta t \quad (1)$$

De donde Δl es aquello que se dilató o se va a dilatar de este puente, α es el coeficiente de dilatación lineal del material y Δt en cuánto se va a calentar, o sea 13°C, el resultado final es totalmente exacto para cualquier temperatura.

Varios fenómenos a los que nos enfrentamos cotidianamente tienen predicciones precisas en varios campos del conocimiento humano. Observemos que el caso anterior obedece a un fenómeno lineal como gran parte de estos dentro de las ciencias naturales. Sin embargo, no todos los fenómenos y hechos con los cuales el hombre ha tenido que

interactuar son lineales. En 1908 el físico-matemático francés Henri Poincaré comienza a trabajar con sistemas matemáticos no lineales y llegó a la conclusión de que el mundo es "imprevisible por naturaleza" (Poincaré, 1990; citado por Lang da Silveira, 1993). A partir de ahí surgen dos corrientes opuestas en esencia:

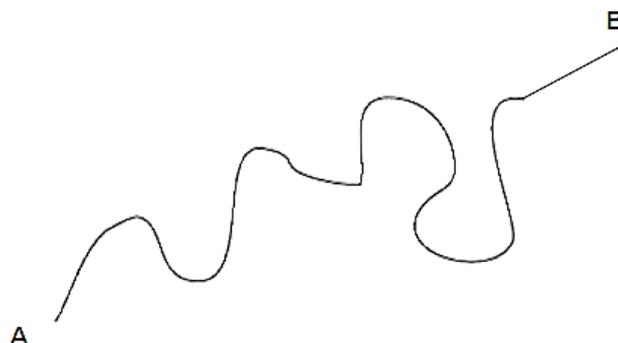
- **Los deterministas:** quienes sustentan que "no es que los acontecimientos sean imprevisibles, sino que aún no hemos descubierto las regularidades y leyes que permiten preverlos".
- **Los no deterministas:** quienes defienden la idea de que el caos es imprevisible por naturaleza, porque para predecir los acontecimientos se necesitaría una cantidad infinita de información.

Particularmente, como autores de este artículo nos adherimos a la primera corriente, pues con el alto desarrollo de las matemáticas –y en la actualidad de la computación– comienzan a abundar los hechos que antes no se podían predecir y hoy sí, ya que tienen en consideración estas herramientas para el desarrollo de la investigación científica.

Es innegable el hecho de fenómenos que antes no tenían explicación y hoy resultan ser parte de nuestra cotidianidad. ¿Quién se iba a imaginar un siglo atrás lo predicho por Maxwell sobre las ondas electromagnéticas, sin embargo, su existencia y aplicación ahora constituye parte inseparable de nuestra acción diaria, algo de lo que no podemos prescindir?

No obstante, todavía hay fenómenos que caen en el campo de la incertidumbre, y precisarlos no resulta una tarea sencilla. Pongamos un ejemplo: digamos que la frontera que divide dos países continentales es de 430 kilómetros (figura 1).

Figura 1. Ejemplo de frontera entre dos países



Fuente: elaboración propia.

En este caso los 430 kilómetros los hemos medido al unir los puntos A y B en línea recta, pero el margen de error sería inmenso respecto de la distancia real de la línea divisoria, porque cada vez que usáramos un instrumento de división más preciso y una escala más pequeña la longitud crecería notablemente, llegando a la conclusión de que A-B no es la longitud real de la frontera.

Por tanto, la longitud de la frontera no está perfectamente delimitada, mientras que si medimos el perímetro de un círculo, de un cuadrado, de un triángulo, o de

cualquier otra figura geométrica regular, obtendremos valores exactos. En el primer caso nos estamos acercando al concepto de "fractal", el cual solo mencionaremos más adelante.

Pero sigamos con el determinismo lineal y el no determinismo dentro de este tema. Supongamos que dentro de un área extensa poseemos una población inicial de 10 mil conejos que se reproducen a 20% anual.

- Dentro de un año habrán: $10\ 000 + 0,2 \cdot 10\ 000 = 10\ 000 + 2\ 000 = 12\ 000$ conejos
- Dentro de dos años: $12\ 000 + 0,2 \cdot 12\ 000 = 14\ 400$ conejos
- Dentro de tres años: $14\ 400 + 0,2 \cdot 14\ 400 = 17\ 280$ conejos

Entonces, nuestro modelo responde a una función lineal. De ello es relativamente fácil buscar un modelo. Si en un año tendríamos 12 000 conejos, entonces:

$$12\ 000 = 1,2 \cdot 10\ 000$$

En dos años:

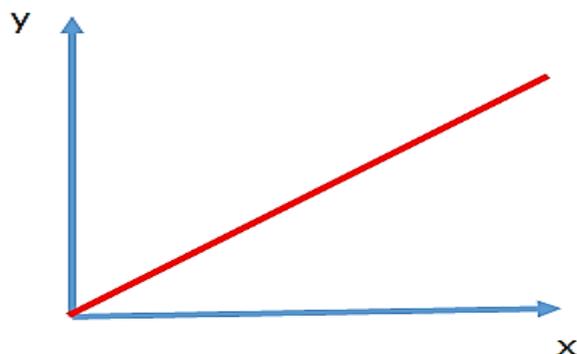
$$14\ 400 = 1,2 \cdot 12\ 000$$

En tres años:

$$17\ 280 = 1,2 \cdot 14\ 400$$

Por tanto, nuestro modelo responde a la función: $y = 1,2 \cdot X$, que es una función lineal del tipo ($y = k \cdot x$). Como sabemos estos procesos se identifican por gráficas lineales que estudia la matemática elemental.

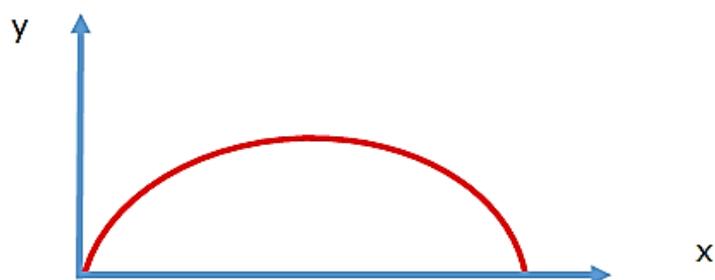
Figura 2. Gráfica de un sistema lineal



Fuente: elaboración propia.

Si seguimos con el ejemplo y su comportamiento real, llegará un momento en que el pasto que sirve de alimento no alcance para toda la población encerrada en el área, y, por lo tanto, comenzará a decrecer la población de animales hasta anularse por completo.

Figura 3. Gráfica de un sistema no lineal



Fuente: elaboración propia.

En este caso el sistema es no lineal, ya que la población no crecerá infinitamente y así de forma similar surgen más sucesos en la naturaleza y en la sociedad.

Los atractores y las causas aleatorias. El efecto mariposa

En la actualidad, en el campo de la investigación científica de cualquier rama del saber humano, hay que tener en cuenta todos los factores incidentes en su campo sin que "sorprendan" las causas aleatorias. En este artículo tratamos de ser más explícitos en aquello que planteamos mediante algunos ejemplos, pero antes definamos algunos conceptos elementales.

Desde secundaria básica estamos familiarizados con la formulación matemática de la segunda ley de Newton, expresada correctamente desde el punto de vista matemático –pero incorrectamente desde el punto de vista filosófico– así:

$$F = m \cdot a \quad (2)$$

Aunque la transformaremos de esta manera para analizarla en su contexto de causa y efecto:

$$a = \frac{F}{m} \quad (3)$$

De aquí F y m son atractores, y corresponden a variables independientes. Es decir, según varíen la fuerza y la masa, así variará la aceleración. En este caso la aceleración sería la variable dependiente y esta depende –valga la redundancia– de los atractores que, a su vez, son independientes entre sí.

Por tanto, esta ecuación lineal "gobierna" el estado determinista de este sistema que también es lineal. Sin embargo, como vimos en el ejemplo de los conejos en la naturaleza, abundan los hechos no sometidos a sistemas lineales, donde intervienen poderosamente otras causas aleatorias que pueden desvirtuar el papel de los atractores.

Esto se manifiesta frecuentemente en la no predicción en tiempo y espacio de los cataclismos naturales como ciclones, tifones y terremotos; la caída imprevista de la bolsa de valores a nivel regional y mundial; las enfermedades virales y bacteriales con infinidad de causas probables; las plagas que destruyen las cosechas de las plantas; las inundaciones y sequías; el descenso del rendimiento académico y conductual de un grupo de estudiantes; entre otros hechos que pudieran servirnos como ejemplos.

Con respecto de los atractores y las causas aleatorias, hoy toma fuerza el llamado "efecto mariposa", presentado a la comunidad científica por Edward Lorenz en 1972 (Barzanallana, 2016). Enunciados como "El simple aleteo de una mariposa en un desierto de China puede provocar un sismo en Costa Rica" tienen su base en los planteamientos de Lorenz. Este enunciado a todas luces exagerado merece un análisis. Si nos basamos en el ejemplo de Compañy (2010), supongamos que soltamos una pequeña canica desde lo alto de un techo liso inclinado como apreciamos en la figura 4.

Una pequeña variación que le demos con los dedos a la esfera hará desviar su trayectoria y caerá en un lugar impreciso, es decir, cada vez que la soltemos nos será imposible predecir el lugar exacto dónde va a caer. Imaginen al cazador que se encuentra con su rifle apuntando a un venado a 200 metros de distancia. Si inclina el cañón unas décimas de milímetro la bala puede desviarse lo suficiente para no alcanzar al animal, porque pequeñas variaciones en las condiciones iniciales pueden producir grandes variaciones en los resultados.

Figura 4. Canica soltada desde un techo



Fuente: tomado de <http://pasosenlarena.blogspot.com/2010/07/>

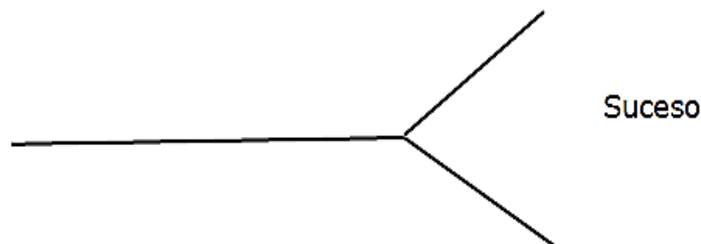
En este caso nuestro margen de error lo pudo introducir el cazador con la pequeña desviación inicial, pero también hay otros factores aleatorios como el aire, la temperatura ambiente, etcétera. Por ello, dentro de una investigación de la rama que fuere hay que ser claros con los sistemas con muchos componentes y no aislar o dejar que las causas aleatorias solapen o desvirtúen el papel de los atractores. Al respecto, existen programas informáticos que antes no existían, los cuales tienen en consideración las variables a trabajar en un sistema y desechan aquellas que apenas inciden en los resultados de pronósticos ya elaborados con anterioridad.

Determinismo y predecibilidad

Es frecuente cuando escuchamos la palabra *caos* asociarla a desorden constante, a algo irreparable y extraño a lo cual no podemos dar solución. La fuerza de la palabra *caos* es causante de malas interpretaciones o interpretaciones generalizadoras. Hace más de 40 años, cuando se comenzó a hablar de "Ciencia del caos", pronto pasó a denominarse "caos determinista" para diferenciarlo del caos causado por puro azar (Scott, 1991; Lang da Silveira, 1993; Sametband, 1999).

En la actualidad se usa el término *complejidad* cuando se estudian estos fenómenos no lineales. Ilustremos cualquier caso; por ejemplo, una chispa eléctrica que surge en un granero:

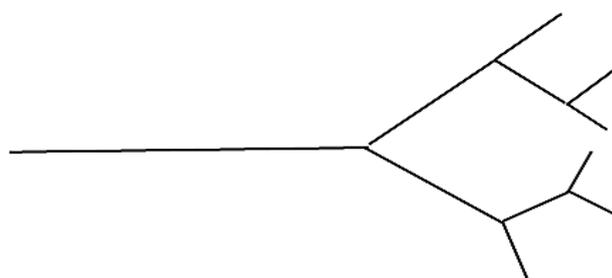
Figura 5. Esquema del fraccionamiento lineal ante un suceso



Fuente: elaboración propia.

Ha surgido un pequeño suceso aparentemente imperceptible, pero este se puede ramificar con el tiempo con un efecto multiplicador:

Figura 6. Esquema de la ramificación de un suceso



Fuente: elaboración propia.

Factores aleatorios:

- Presencia de madera, paja, etcétera
- Presencia de oxígeno
- Ausencia de personas en el entorno
- Desorganización del granero
- No tener a mano extintores

Al diseñar el granero es posible que no se tuvieran en cuenta estos factores, que al coincidir conllevan a un efecto multiplicador. Entonces llegará un momento cuando haya infinidad de sucesos colaterales y la amalgama de líneas que representan esos sucesos será impredecible.

A esta zona le llamamos "zona de caos" para todo hecho científico, ya sea natural o social. Esta zona está presente en todo sistema dinámico, cualquiera que sea su naturaleza (físicos, químicos, biológicos, sociales, etcétera) y son extremadamente sensibles a los valores de las condiciones iniciales, como vimos en el ejemplo de la canica.

Esto pone un límite entre la posibilidad de predecir el futuro y las condiciones iniciales, pues la mayoría de los fenómenos predecibles responden matemáticamente a ecuaciones diferenciales lineales como las que usa la física. Sin embargo, a medida que aparecieron las computadoras se ha encarado el problema de los sistemas no lineales y se avanza considerablemente en este aspecto.

En la época de Laplace, con el determinismo newtoniano la ciencia creía en la linealidad de todos los sucesos, pero todavía no poseía las herramientas necesarias

para fenómenos que luego aparecieron según se desarrollaba la sociedad y su interacción con el hombre (Lang da Silveira, 1993). De ahí surgieron las dos tendencias que mencionamos a inicio de este artículo y que actualmente comienzan a despejar algunas dudas.

El estudio de los fractales

Un fractal es un objeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o irregular, se repite a diferentes escalas. El término fue estudiado y propuesto por el matemático polaco Benoît Mandelbrot en 1975, y deriva del latín *fractus* que significa quebrado o fracturado (Braun, 1996; Talanquer, 2000).

De ahí muchas estructuras naturales son de tipo fractal. La propiedad matemática clave de un objeto genuinamente fractal es que su dimensión métrica fractal es un número no entero a diferencia de las figuras geométricas regulares. Un aspecto interesante de los fractales es que poseen dos características que aún están en estudio:

- Son autosimilares (se repiten ellas mismas)
- Presentan algoritmos matemáticos recursivos

En las figuras 7, 8 y 9 vemos algunos ejemplos de la naturaleza. En la figura 7 se aprecia cómo las plumas de un pavorreal se repiten constantemente presentando formas recursivas.

Figura 7. Plumas de cola de pavo real



Fuente: tomado de <https://es.gizmodo.com/>

Figura 8. Circunvoluciones de un caracol



Fuente: tomado de <https://es.gizmodo.com/>

Figura 9. Copos de nieve a través de un microscopio



Fuente: tomado de <https://es.gizmodo.com/>

Bonilla Oconitrillo (2013) expresa:

Durante estos veinte siglos el tema había sido abordado por los artistas, que parece siempre han entendido que la realidad es una sola, que cuerpo y piel son una sola cosa, que se necesitan mutuamente para funcionar, independientemente de que se analicen por aparte.

Los fractales conectan de inmediato con la teoría del caos y los sistemas dinámicos, y esto nos acerca muy rápido a una comprensión un poco más armónica e integral de la realidad (p. 1).

Al contrario que la geometría utilizada entonces (basada en rectángulos, círculos, triángulos, elipses, etcétera) esta nueva geometría describe sinuosas curvas, espirales y filamentos que se retuercen sobre sí mismos dando elaboradas figuras, cuyos detalles se pierden en el infinito.

Entonces podemos entender la geometría fractal como *la geometría de la naturaleza, del caos y del orden*, con formas y secuencias que son localmente impredecibles, pero globalmente ordenadas en contraste con la geometría euclidiana que representa objetos creados u ordenados por el hombre y, claro está, en su totalidad predecibles.

Al ordenar el caos

Al conocer de forma general algunos aspectos acerca de los conceptos anteriores, aunque no predigamos consecuencias, podemos ampliar nuestra base epistemológica para una mejor comprensión de los sistemas dinámicos que entran en toda investigación. Por ello resumimos lo siguiente:

- A partir de Albert Einstein tenemos en cuenta un espacio de cuatro dimensiones (x, y, z, t) en la vida real; si se aplican las matemáticas, estas dimensiones pueden ser mucho más
- A medida que los sistemas se convierten en indeterministas, de la misma forma se desarrolla la tecnología para predecir resultados con más exactitud
- Aunque el caos no se pueda predecir con exactitud, los estudios actuales toman en cuenta el fenómeno para evitarlo

De lo anterior podemos ilustrar varios ejemplos actuales: hace algunos años en los aeropuertos de gran tráfico aéreo hubo casos inexplicables en que varias naves a la hora de despegar se estrellaron en la pista sin causa aparente. En investigaciones posteriores se comprobó que se formaba una zona de turbulencia en el extremo de las alas de los aviones y, entonces, si otro avión despegaba a continuación pasaba por esa zona de turbulencia y "caía en pérdida".

Al conocer los resultados caóticos, producto del trabajo investigativo, en la zona de caos no se puede trabajar, pero se tomaron medidas para evitarla en la aviación actual. Como norma la Comisión Internacional de Aeronáutica estableció un tiempo de tres a cuatro minutos entre despegues de aviones hasta que se disuelvan los vórtices en las alas y así evitar una tragedia del avión próximo a despegar.

Otro ejemplo lo tenemos en los ciclones tropicales, pues los institutos de meteorología poseen un departamento de pronósticos donde a través de la recopilación de datos anteriores se establece un "cono de posible trayectoria", el cual indica las posibles zonas afectadas y el lugar por dónde debe pasar el huracán con una predicción de altas probabilidades. Desde luego que esto hace tomar las medidas pertinentes al respecto.

En épocas anteriores estos sucesos caóticos nos sorprendían irremediamente con sus secuelas catastróficas, pero gracias al desarrollo tecnológico las zonas de afectación temporal se van reduciendo, tanto en el plano social como en el terreno de los fenómenos naturales. Por ello, algunos científicos, filósofos y sociólogos apelan a la frase "ordenar el caos", no solo refiriéndose a predicciones también tratando de desentrañar sus particularidades a través del estudio de estos sistemas dinámicos complejos.

Conclusiones

Este breve estudio constituye una reseña de hechos que, aunque están a la vista de todos, en ocasiones no nos percatamos de su importancia, aunque estemos a merced de sus consecuencias. El tema objeto de estudio ya ha sido abordado con suficiente profundidad por muchos autores, pero todavía es desconocido por varias comunidades, incluso las universitarias.

También es de aplicación en la mayoría de los campos del conocimiento. Por tanto, sería de utilidad para que los alumnos y los docentes universitarios tengan una noción informativa al respecto y les permita conocer el papel que juegan las tecnologías actuales para su análisis efectivo en el campo de la investigación científica.

Referencias

- Barzanallana, R. (2016). *Edward Lorenz, padre de la Teoría del Caos y el Efecto Mariposa*. Departamento Informática y Sistemas Universidad de Murcia. Recuperado de <http://www.um.es/docencia/barzana/BIOGRAFIAS/Biografia-Edward-Lorenz.php>
- Bonilla Oconitrillo, I. (2013). *Fractales y caos ¿volúmenes vs. bordes? ¿composición vs. fractura?* Recuperado de <http://www.iboenweb.com/ibo/docs/Fractales%20y%20Caos.htm>
- Braun, E. (1996). *Caos, fractales y cosas raras*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Compañy, T. (3 de julio de 2010). *Canicas*. Recuperado de <http://pasosenlarena.blogspot.pe/2010/07/el-nino-observo-el-mundo-traves-de-una.html#comment-form>

- Guzmán Hennezzey, M. (2010). *La generación del cambio climático. Una aproximación desde el enfoque del caos*. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad del Rosario. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?isbn=958738105X>
- Lang da Silveira, F. (1993). *Determinismo, previsibilidad e caos*. Recuperado de https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Determinismo_previsibilidad_e_caos.pdf
- Sametband, M. (1999). *Entre el orden y el caos*. Buenos Aires, Argentina: Fondo de Cultura Económica.
- Scott, S. (1991). *Chemical Caos*. Oxford, USA: Clarendon Press.
- Talanquer, V. (2000). *Fractales de laberintos y espejos*. Buenos Aires, Argentina: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

* **José Ramón del Valle González**. Es catedrático de ciencias, escritor y ensayista cubano residente en Perú. Especialista en Metodología de la Investigación. Coordinador de la Unión Hispanomundial de Escritores donde ha escrito diversos ensayos. Jefe de tema de una investigación ramal nacional en Cuba. Autor de un libro sobre metodología de la enseñanza de la física y otro recientemente publicado en Perú. Entre sus ensayos se destacan:

- La praxis entre la esencia y la forma.
- El caos, los fractales y su relación con la investigación.
- Las nuevas tecnologías y la tarea escolar.
- La grandeza de un genio (dedicado a Einstein).
- La inversión de los polos magnéticos de la tierra y sus consecuencias.

Actualmente se desempeña como conferencista y escritor en Perú. <https://orcid.org/0000-0001-8127-9469>

** **Alejandro Cruzata-Martínez**. Catedrático cubano residente en Perú, especializado en temas de didáctica de la lengua y la literatura y la educación universitaria, así como en metodología de la investigación científica. Magíster en Didáctica del Español y la Literatura. Doctor en Ciencias Pedagógicas. Actualmente se desempeña como Director de Grado y Sustentaciones de la Escuela de Postgrado de la Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú. Autor de varios artículos científicos en distintas revistas científicas. Está inscrito en las plataformas del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC) del Perú.

DINA:000818391

REGINA-CONCYTEC:12406

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0104-0496>

Google Scholar Citation: alejandrocruzatamartinez@gmail.com

USIL International Business School.

*** **Joel Alhuay-Quispe**. Es graduado en Bibliotecología y Ciencias de la Información (UNMSM), egresado del Instituto de Innovación Tecnológico (UNI), con estudios (c) de Maestría en Gestión de la Información y del Conocimiento (UNMSM), y Diploma de Investigación Científica (USIL); además, cuenta con certificación en escritura científica por Latindex (México). Actualmente labora como analista de tecnologías de información en el Vicerrectorado de Investigación, USIL. Publica bajo las líneas de investigación: gestión de la información, bibliometría, repositorios, producción científica, visibilidad web.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1903-4687>

Google Scholar: <https://scholar.google.com.pe/citations?user=CQFyK7sAAAAJ>