

EL USO DE LOS ÓRDENES SUPERIOR DE VARIACIÓN EN LA INTERPRETACIÓN CLÍNICA DEL ELECTROCARDIOGRAMA

Angélica Moreno-Durazo, Ricardo Cantoral

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. (México)

gamoreno@cinvestav.mx, rcantor@cinvestav.mx

RESUMEN: Mostramos cómo la noción de orden de variación es usada por los profesionales de la medicina cuando interpretan un electrocardiograma, específicamente, asociamos a un tipo de bloqueo en la conducción eléctrica del corazón el uso del segundo orden de variación. Los cuestionamientos sobre cómo el médico requiere del uso de determinado orden de variación en el diagnóstico de sus pacientes, es nuestro escenario de investigación para el análisis de lo que postulamos como un razonamiento sobre la variación de "orden pequeño" y cómo éste organiza las prácticas asociadas a la predicción de fenómenos.

Palabras clave: teoría socioepistemológica, predicción, variación, medicina

ABSTRACT: We show how the notion of variation order is used by medicine professionals when interpreting an electrocardiogram. Specifically, we associate a type of blockage in the electrical conduction of the heart by using the second order of variation. The questioning about how the physician requires the use of certain order of variation in the diagnosis of his patients is our research scenario for the analysis of what we postulate as reasoning about the variation of "small order" and how the physician organizes the practices associated to the prediction of the phenomena.

Key words: socio epistemological theory, prediction, variation, medicine

■ Introducción

Las matemáticas del cambio se ubican, dentro del currículo escolar, en los cursos de Cálculo Diferencial e Integral, Ecuaciones Diferenciales; para las cuales se ha señalado, desde diversas investigaciones de la Matemática Educativa, una problemática sobre la construcción de los significados de los conceptos y procesos matemáticos involucrados; basados en diversas investigaciones enfocadas al reconocimiento de las dificultades o la tipificación de los errores en el tratamiento de los objetos matemáticos. Así, por ejemplo, se reportan dificultades entre los estudiantes al manejar la función lineal en los contextos matemático y físico, o las confusiones suscitadas entre la pendiente de la gráfica y la ordenada en una función lineal (Planinic, Milin-Sipus, Katic, Susac & Ivanjek, 2012; Johnson, 2015).

Apoyados en la Teoría Socioepistemológica lo que se enfatiza es la ausencia de procesos variacionales que doten de significado a los objetos matemáticos relacionados al cambio (Cantoral y Farfán, 1998). Además, asocian la falta de significación con la centración exclusiva en los objetos matemáticos, es decir, es precisamente la organización jerárquica desarrollada sobre conceptos y el uso de la mecanización de los algoritmos del cálculo como recursos didácticos, los que impiden el desarrollo del pensamiento matemático.

Ante esto, se propone la *descentración de los objetos matemáticos* como un medio de mejora al acompañarla de una nueva centración en las prácticas que dieron origen a dichos objetos, pues son las que promueven la resignificación de los objetos matemáticos (Cantoral, 2013). De manera que, los estudios sobre aspectos que posibilitan la predicción son relevantes para el proceso de significación de las matemáticas del cambio y la variación, pues estas nacen y se desarrollan como respuesta a cierta necesidad de predicción ante problemas que se ocupan de fenómenos naturales o sociales.

La *predicción* es objeto de estudio científico desde diferentes perspectivas, algunas interesadas en su relación desde el punto de vista cognitivo como su participación en el reconocimiento de modelos mentales, sus limitaciones a nivel neuronal, su relación con el condicionamiento clásico y el aprendizaje (Chiou y Anderson, 2010; Puente, 1998; Vogel, Soto, Castro y Solar, 2006; Llinás, 2012). En relación a aspectos didácticos, en (Lim, Buendía, Kim, Cordero y Kasmer, 2010) se le otorga un papel importante en los procesos de enseñanza y de aprendizaje de las matemáticas superiores.

Para Gonzales (2010) la predicción es considerada como el objetivo último de las ciencias, una prueba para evaluar teorías y un paso previo a la toma de decisiones. Respecto a esta última, entendemos a la predicción, desde una postura sistémica, como una práctica relativa a la humanidad cuya base es el estudio del cambio y la variación. Además, reconocemos que este estudio no se limita a la Matemática, sino que se encuentra inmerso tanto en las experiencias cotidianas de los grupos sociales y de los individuos, como en otras áreas del conocimiento como física, química, biología, toxicología, entre otras (Cantoral, Farfán, Lezama y Martínez, 2006; Tuyub y Cantoral, 2012)

La presente investigación tiene como objetivo analizar aquellos elementos, relativos al estudio del cambio y la variación, que permiten al profesional de la Medicina emitir un diagnóstico ante la situación

de su paciente (justo ahí radica su carácter predictivo). Esto es, el objetivo es localizar, analizar, clasificar y organizar aquellas prácticas predictivas de la Medicina relativas al uso de los órdenes de variación. En particular, mostramos el papel que juegan los órdenes superiores de variación en la interpretación de un electrocardiograma (ECG), representación gráfica de los cambios eléctricos en las células cardíacas en los procesos de contracción y relajación del músculo cardíaco en función de las variables tiempo y voltaje.

Es importante mencionar que esta investigación no busca la inclusión, *per se*, de cursos de Cálculo en el currículo en la formación de los médicos, sino que elegimos el escenario que nos permita hablar de la transversalidad de los razonamientos propios del estudio de la variación. Esto es, la predicción en fenómenos deterministas se analiza con apoyo en modelos analíticos, por ejemplo, la convergencia de series de Taylor, donde se asume “constante” o con poco efecto, la “cola” de la expansión infinita; lo que Cantoral (1990) denominó segundo nivel de constantificación. Ahora bien, la Medicina nos provee de un escenario nuevo en el que la predicción se ve restringida con la presencia de la incertidumbre y el caos, el ritmo cardíaco y los ciclos sistémicos, donde la predicción no es plena, pero resulta de gran relevancia el estudio de la variación acotada.

Por último, proporcionamos un ejemplo desde la Física clásica, el movimiento de una partícula, para ilustrar a qué nos referimos con orden de variación. El estudio del cambio de la posición de un objeto respecto del tiempo alude a su velocidad (primer orden de variación), mientras que el estudio del cambio de la velocidad, el cambio del cambio, alude a la aceleración (segundo orden de variación), (Cantoral, 2013).

■ Elementos teóricos

La investigación se encuentra inmersa en la línea de Pensamiento y Lenguaje Variacional (PyLVar), que se interesa por las formas en las que los individuos se apropian del cambio y la variación ante situaciones de predicción. Esta línea se desarrolla bajo las perspectivas de la Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa, para la cual, las explicaciones sobre la construcción de conocimiento matemático radican en las prácticas que realice el individuo. Por ejemplo, recientemente Reyes-Gasperini (2016) propuso una evolución de prácticas indispensable para el desarrollo de un pensamiento proporcional, contrapuesto con la regresión de conceptos matemáticos ligados a la proporcionalidad inmersa en el currículo escolar.

El estudio del cambio y la variación ante la necesidad de predecir sobre determinados fenómenos, requiere de la consideración de aquellas prácticas que permitan al individuo identificar *qué es lo que cambia, cómo cambia, cuánto cambia y por qué cambia de esa manera*; las cuales, dependiendo del fenómeno de estudio, se organizan en el siguiente modelo de anidación de prácticas.



Figura 1. Modelo de anidación de prácticas (Cantoral, 2013).

En el modelo conviven varios momentos que separaremos en dos grupos: aquellos que pueden ser materializado mediante acciones, actividades y prácticas y, el que las “moldean” en tanto norman y estructuran a éstas: prácticas, prácticas de referencia y prácticas sociales. El momento de la acción se refiere a aquellas interacciones directas entre el sujeto y su entorno, que se organizan en relación a él convirtiéndose en actividades y devienen en prácticas socialmente compartidas; las prácticas de referencia las estructuran mientras que las prácticas sociales las norman (Cantoral, 2013). Esta organización de prácticas no es estática, sino que las explicaciones sobre la construcción de conocimiento se dinamizan “... hacia arriba, la construcción social del conocimiento comienza por la acción del sujeto sobre el medio y hacia abajo, la construcción social del conocimiento comienza por la norma que regula el quehacer de los individuos en colectividad.” (Cantoral, Montiel y Reyes-Gasperini, 2015, p. 13)

Lo que no se muestra con las lecturas en subida o bajada del modelo es qué relaciona, por ejemplo, el nivel de acción con el de actividad o éste con el de prácticas socialmente compartidas; lo que en términos generales decimos como, qué es lo que organiza a las prácticas. Nuestra hipótesis de investigación es que lo que organiza a las prácticas asociadas a la predicción es un razonamiento sobre la *pequeña variación*, que denominamos *principio estrella: p^** desde nuestro grupo de investigación.

Las estrategias variacionales de *comparación*, *seriación*, *estimación* y *predicción* fueron reportadas por investigaciones que se centraron en determinar, ante tareas matemáticas, las maneras en las que un individuo trata con el cambio y la variación (Caballero, 2012; Salinas, 2003), de manera que estarán presentes en el modelo de anidación al explicar la construcción de conocimiento relativo a la predicción. Así que, lo que nos preguntamos en la hipótesis de investigación es: ¿qué es lo que relaciona a la comparación con la predicción?, ¿qué es lo que las organiza en un modelo de anidación

de prácticas? Es así que la búsqueda de relaciones y organizaciones entre prácticas es el centro de esta investigación.

Según Caballero (2012) son la comparación y la seriación base de estrategias más complejas, como lo son la estimación y la predicción. Caracteriza a la comparación como aquella acción de *establecer diferencias* entre estados, lo cual permite cuantificar el cambio; sin embargo, no es posible con dos estados cuantificar el cambio que sufre el cambio. Aspecto que sí es posible a través de la seriación, caracterizada como el *análisis comparativo* de estados sucesivos (más de dos) con la intención de encontrar un patrón entre ellos.

Notemos que las estrategias de comparación y seriación aluden a la noción matemática de *variación*, en diferentes órdenes, la cual está íntimamente ligado a la predicción. Adicionalmente, reconocemos la incapacidad del hombre para tratar con infinitas variables y variaciones, por lo que lleva a cabo procesos de constantificación (Cantoral, 1990). Por lo anterior, decimos que el estudio de la variación de “orden pequeño” es lo que organiza las prácticas predictivas en situaciones estables.

Lo anterior, requiere de un estudio profundo del papel que tiene la variación en la predicción de fenómenos. A continuación, mostramos un ejemplo para la Medicina, del uso de la noción orden de variación ante la necesidad de explicar, anticipar y “predecir” en ciertas condiciones cuál será el comportamiento del ritmo cardíaco del paciente.

■ Matemáticas y Medicina. Un estudio del pensamiento y lenguaje variacional

La anormalidad en el funcionamiento cardíaco, vista desde el ECG, se caracteriza sólo con base en las variables tiempo o voltaje. Para algunos casos, el referente es el tiempo que transcurre para realizar determinado proceso en el ciclo cardíaco; para otros será el voltaje empleado para realizarlo o la combinación de estas variables es la que caracteriza la enfermedad. Las anomalías que abordaremos en este momento son las referidas exclusivamente al tiempo.

Un bloqueo en la conducción eléctrica en el corazón puede presentarse en diferentes zonas y ser de dos tipos: completos e incompletos. En los primeros, el estímulo eléctrico no pasa por la zona bloqueada y en los de segundo tipo, el estímulo viaja de forma retrasada o enlentecida en el tiempo (Castellano, Pérez y Attie, 2004). Para investigar el orden de variación referidos a la variable tiempo en el diagnóstico de bloqueos en la conducción eléctrica estudiamos los bloqueos ubicados en el nodo atrioventricular (bloqueos AV, BAV). En los cuales el médico para identificarlos analiza, en términos generales, los cambios en el segmento PR y la relación entre las ondas P y el complejo QRS (figura 2).

Basándose en las características electrocardiográficas, el BAV se clasifica en tres categorías: a) BAV de primer grado que es la prolongación del intervalo PR más allá del límite superior de la normalidad, es decir mayor de 0,2 segundos;

b) el BAV de segundo grado, en él, una o más ondas P, pero no todas, no son conducidas, esto es, no son seguidas de complejo QRS, y c) el bloqueo AV de tercer grado, en el cual ninguna de las ondas P se conduce a los ventrículos, es decir, hay un bloqueo total de la conducción a nivel AV. (Lobelo, Hernández, González y Moro, 2001, p. 2125)

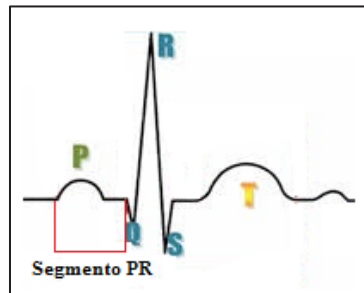


Figura 2. Ciclo cardíaco

La característica principal en la descripción de los bloqueos de primer y segundo grado corresponde a la prolongación del intervalo PR. Esta centración en la prolongación de un suceso alude al tiempo como variable principal de estudio y a un comportamiento específico sobre la variable (*su crecimiento*), por lo que nos interesamos por analizar las características electrográficas de este tipo de bloqueos. Longitudes mayores en ese sentido corresponden a lapsos mayores.

El bloqueo AV de segundo grado se describe de la siguiente manera:

Es la interrupción intermitente de un estímulo supraventricular a su paso por el nodo atrioventricular. Esa interrupción tiene lugar de manera que un primer estímulo se conduce normalmente a través del nodo atrioventricular, el siguiente estímulo sufre un enlentecimiento de la conducción a través de dicho nodo, el tercer estímulo se enlentece aún más y así hasta que un determinado estímulo se bloque y no es capaz de atravesar el nodo atrioventricular. Este enlentecimiento progresivo de la conducción a través del nodo AV se llama fenómeno de Wenckebach. (Castellano, et al. 2004, p 85)

En esta primera descripción del bloqueo Wenckebach nos interesa resaltar la delineación que se hace del comportamiento de los estímulos eléctricos que parten del nodo sinusal al atrioventricular. Esto es, los estímulos tienen *cada vez un mayor retraso*, lo que habla de una cuantificación del cambio que sufre el tiempo que tarda en conducir un estímulo en determinada zona del corazón; este cambio se

representa con un crecimiento de algún tipo, es decir, involucra un primer orden de variación en tanto solo habla de crecimiento y no de qué tipo de crecimiento es (*segundo orden de variación*).

A continuación, explicamos cómo el segundo orden de variación está presente en las características del bloqueo AV tipo Wenckebach (Mobitz I) y, además, cómo esto se visualiza en el ECG.

Las características electrocardiográficas del BAV tipo Mobitz I son: a) prolongación progresiva del intervalo PR; b) disminución progresiva del incremento del intervalo PR de latido a latido; c) disminución del intervalo RR; d) la pausa producida por la onda P bloqueada es menor a la suma de dos intervalos PP y es igual a la suma de dos intervalos PP menos la suma total de los incrementos de conducción, y e) el intervalo RR producido después de la pausa es mayor que el último intervalo RR producido antes de la onda P bloqueada. (Lobelo, et al. 2001, p. 2126)

A partir de esto, en las características de este tipo de bloqueos, reconocemos que entre los elementos que permiten identificar el enlentecimiento en los estímulos eléctricos del corazón, es el estudio del intervalo PR. El apartado a) indica una *prolongación progresiva* de este intervalo, lo que entendemos como un comportamiento creciente en el tiempo que dura en realizarse para cada ciclo cardíaco; además, especifica en el apartado b) que este *crecimiento del intervalo sufre una disminución progresiva*. Es decir, el intervalo PR durante un bloqueo AV de tipo Wenckebach tiene un crecimiento cada vez menor.

De lo mencionado anteriormente, decimos que el médico en la interpretación del electrocardiograma (figura 3), requiere para diagnosticar la presencia de un bloqueo tipo Wenckebach típico del estudio del segundo orden variación sobre la variable tiempo.

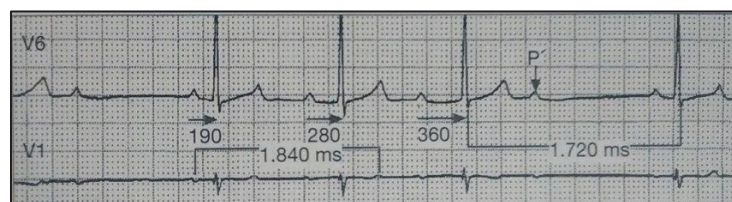


Figura 3. Bloqueo AV de tipo Wenckebach

■ Reflexiones finales

Mostramos a este momento, cómo es que la noción de orden de variación es utilizada para identificar comportamientos en los procesos rítmicos del corazón, de los cuales surge el diagnóstico que el médico realiza; basados en la comparación y la seriación de una “parte” del electrocardiograma (intervalo PR). Aún queda por analizar, en un ejemplo concreto, cómo el razonamiento sobre la pequeña variación que representa el segundo orden de variación en el caso del fenómeno de Wenckebach organiza las prácticas consecutivas del médico.

Con esta investigación lo que buscamos son elementos para el rediseño del discurso Matemático Escolar, con base en la evolución de prácticas que signifiquen a los objetos matemáticos empleados en el estudio del cambio. La propuesta de una organización curricular con base en prácticas antepone un conflicto sobre cómo se jerarquizan esas prácticas, conflicto que no presenta la organización curricular por contenidos ya que la jerarquización sobre objetos matemáticos es, por ejemplo, en función de los objetos matemáticos que se desean estudiar. De manera que, mostrar que la organización de las prácticas predictivas en relación al razonamiento sobre la pequeña variación es una contribución a ese rediseño.

■ Referencias bibliográficas

- Caballero, M. (2012). *Un estudio de las dificultades en el desarrollo del lenguaje y pensamiento variacional en profesores de bachillerato*. Tesis de maestría. México: Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav.
- Cantoral, R. (1990). *Categorías Relativas a la apropiación de una base de significaciones para conceptos y procesos matemáticos de la Teoría Elemental de las Funciones Analíticas. Simbiosis y predación entre las nociones de “el Prædicere” y “lo Analítico”*. Tesis Doctoral. México: Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav.
- Cantoral, R. (2013). *Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa. Estudios sobre construcción social del conocimiento*. Barcelona: Gedisa.
- Cantoral, R. y Farfán, R. (1998). Pensamiento y lenguaje variacional en la introducción al análisis. *Epsilon*, 42, 353-369.
- Cantoral, R., Farfán, R., Lezama, J. y Martínez, G. (2006). Socioepistemología y representación: Algunos Ejemplos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, Número Especial, 83-102.
- Cantoral, R., Montiel, G. y Reyes-Gasperini, D. (2015). Análisis del discurso Matemático Escolar en los libros de texto, una mirada desde la Teoría Socioepistemológica. *Avances de Investigación en Educación Matemática*, 8, 9-28.
- Castellano, C., Pérez, M. y Attie, F. (2004). *Electrocardiografía clínica*. Madrid: Elsevier.

- Chiou, G. y Anderson, O. R. (2010). A study of undergraduate physics students' understanding of heat conduction based on mental model theory and an ontology–process analysis. *Science Education*, 94 (5), 825-854.
- Reyes-Gasperini, D. (2016). *Empoderamiento docente desde una visión socioepistemológica: una alternativa de intervención para la transformación y la mejora educativa*. Tesis Doctoral. México: Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav.
- González, W. (2010). *La predicción científica. Concepciones filosófico-metodológicas desde H. Reichenbach a N. Rescher*. España: Editorial Montesinos.
- Johnson, H. (2015): Together yet separate: Students' associating amounts of change in quantities involved in rate of change. *Educational Studies in Mathematics*, 89(1), 89 – 110.
- Lim, K. H., Buendía, G., Kim, O. K., Cordero, F. y Kasmer, L. (2010). The role of prediction in the teaching and learning of mathematics. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 41(5), 595-608.
- Lobelo, R., Hernández, A., González, J. y Moro, C. (2001). Bloqueo Aurículo – Ventricular. *Medicine* 8 (40), 2125-2131.
- Llinás, R. (2012). Función de predicción del cerebro. En Caparros, N. y Cruz, R. (Dir.). *Viaje a la complejidad 2. Del origen de la vida a la emergencia del psiquismo*. España: Biblioteca nueva.
- Planinic, M., Milin-Sipus, Z. Katic, H., Susac, A. y Ivanjek, L. (2012). Comparison of Student Understanding of Line Graph Slope in Physics and Mathematics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(6), 1393 – 1414.
- Puente, A. (1998). *Cognición y aprendizaje. Fundamentos psicológicos*. España: Ediciones Pirámide.
- Salinas, S. (2003). *Un estudio sobre la evolución de ideas variacionales en los cursos introductorios al cálculo*. Tesis de maestría. México: Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav.
- Tuyub, I. y Cantoral, R. (2012). Construcción Social del Conocimiento Matemático durante la Obtención de Genes en una Práctica Toxicológica. *Bolema* 26 (42A), 311-328.
- Vogel, E. H., Soto, F. A., Castro, M. E. y Solar, P. A. (2006). Modelos matemáticos del condicionamiento clásico: evolución y desafíos actuales. *Revista Latinoamericana de Psicología* 38 (2), 215-243.