

PENSAMIENTO Y LENGUAJE VARIACIONAL EN LA PRÁCTICA MÉDICA. EL CASO DE “LA LECTURA” DEL ELECTROCARDIOGRAMA

Gloria Angélica Moreno-Durazo, Ricardo Cantoral Uriza

Resumen

Retomamos investigaciones sobre Pensamiento y Lenguaje Variacional, que proponen como punto de partida para el análisis del cambio a las “estrategias variacionales” de: comparación, seriación, predicción y estimación, a fin de llevar a cabo un análisis sobre la práctica profesional del médico. Este profesional de la medicina será partícipe de una situación de variación que pone en funcionamiento las estrategias variacionales en su interpretación del electrocardiograma. Con esta investigación se pretende extender los resultados de la línea de investigación a terrenos aún no explorados como lo es el estudio de los sistemas complejos, las dinámicas propias de los sistemas fisiológicos de los seres humanos.

Palabras clave: Electrocardiograma, estrategias variacionales, socioepistemología.

Introducción

El Pensamiento y Lenguaje Variacional (PyLVar) es una línea de investigación desarrollada en Cinvestav-IPN, cuyo objetivo es el estudio de las formas culturales de apropiación del *cambio* con fines *predictivos*. Derivado de los proyectos desarrollados a lo largo de dos décadas, se han podido caracterizar *estrategias* y *argumentos variacionales* indispensables para la predicción. En consecuencia se han desarrollado una serie de secuencias didácticas para la mejora educativa tanto en el aula y la escuela, como en la vida misma.

El PyLVar no reduce sus objetivos de investigación al ámbito de lo cognitivo (lo covariacional), lo didáctico (modelación funcional) o lo epistemológico (matemática de las magnitudes variables) separadamente, sino que las agrupa en el ámbito de lo social de manera sistémica. A esta articulación teórica se le ha denominado Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa (Cantoral, 2013).

Para la línea de investigación de PyLVar el objetivo central de las formas culturales de apropiación, exige de una estructuración de las *prácticas*, que acompañan a los *objetos matemáticos*. Esto precisa de la *anidación de prácticas*, relativas al estudio del cambio y la variación. Entendemos por *cambio* a la modificación de estado de un cuerpo, sistema u objeto, mientras que la *variación* resulta ser una cuantificación de ese cambio. Por tanto, estudiar *lo variacional* implica identificar aquello que cambia, cuantificar sus cambios y analizar cómo varían los cambios, lo que permite realizar predicciones sobre fenómenos, exige por tanto de un sistema de referencia, un origen y de unidades de medida.

Asimismo, asumimos que el cambio y la variación se encuentran en las vivencias y experiencias cotidianas de los individuos y de los grupos sociales, a partir de las cuales la

predicción se construye socialmente mediante el desarrollo de prácticas en las que intervienen el cambio y la variación (Cantoral, Farfán, Lezama, Martínez, 2006). Estas prácticas pueden ser encontradas en áreas del conocimiento humano como Física, Química, Biología, Ecología, Medicina o Ingeniería, entre muchas otras. Su estudio permite comprender con mayor profundidad la *construcción social de conocimiento matemático*, pues en dichos escenarios el conocimiento matemático se ubica de manera funcional en las prácticas profesionales.

De manera cotidiana podemos decir que toda persona se enfrenta a una gran diversidad de cambios, tanto en su cuerpo como en la naturaleza, por ejemplo las veces que palpita o late el corazón por cada minuto en situación de reposo, o la temperatura corporal sentado bajo el sol, o bien la producción de glóbulos blancos a lo largo de la vida, la producción de cortisol asociada a niveles de estrés y así una gran cantidad de ejemplos como estos. Lo que nos interesa, en este proyecto de investigación, es saber con suficiente grado de certeza cómo se cuantifican y analizan esos cambios, sobre qué respaldan sus juicios los profesionales de la medicina al realizar todo tipo de prácticas predictivas. Respecto a ello, nuestro propósito es mostrar, mediante el estudio documental de la interpretación de un electrocardiograma, una articulación entre las investigaciones ligadas al *cambio* y la *variación* con temas relativos al funcionamiento de mecanismos regulativos propios del cuerpo humano y las perturbaciones externas a él.

En investigaciones recientes (Caballero, 2012) se presenta un modelo de interacción de los elementos del PyLVar, estructuras, estrategias, argumentos, códigos, tareas y situaciones variacionales. Se menciona la funcionalidad de las que denomina estrategias variacionales, caracterizadas por ser el punto de partida para el análisis del cambio pues permite identificar aquello que cambia en una situación, cuantificarlo y analizar sus formas de cambio. Las investigaciones de Salinas (2003) reconocen a la comparación, seriación, estimación y predicción como estrategias variacionales específicas en problemas de optimización; las cuales fueron posteriormente retomadas por Caballero (2012).

Retomando estas investigaciones, proponemos que estas estrategias variacionales se ponen en funcionamiento en la llamada "lectura sistemática del electrocardiograma", la cual consiste en el análisis de aspectos relativos al origen del ritmo cardiaco, la frecuencia cardiaca, morfología de las ondas, los segmentos y los intervalos que caracterizan el electrocardiograma (Pérez-Lescure, 2011; Castellano, Pérez, Attie, 2004), acciones previas a la toma de decisión por parte de los profesionales de la medicina.

Pensamiento y Lenguaje Variacional en la lectura sistemática del electrocardiograma

Al momento, los estudios sobre el PyLVar en ámbitos multidisciplinarios se han ocupado del examen del cambio y la variación bajo sistemas determinísticos propios de las ciencias físicas: abundan estudios sobre la caída libre o el plano inclinado, la dinámica y la cinemática de cuerpos o las distintas modalidades de las dinámicas poblacionales con crecimiento exponencial. En todos ellos, el estado futuro del sistema dinámico depende sólo de las condiciones de partida (estado inicial y condiciones de frontera determinados por una única ley de movimiento). En este escenario, la predicción es alcanzada mediante modelos matemáticos cuya resolución precisa de la convergencia de la serie de Taylor en un dominio dado. Pues el estado futuro, digamos $f(x + h)$, depende los valores de partida: $h, f(x), f'(x)$, etc., mediante la expresión:

$$f(x + h) = f(x) + \frac{f'(x)h}{1!} + \frac{f''(x)h^2}{2!} + \frac{f'''(x)h^3}{3!} + \dots$$

El problema que ahora abordamos es el de ampliar los escenarios de significación de la predicción en situaciones de cambio y variación hacia escenarios no determinísticos, eventualmente escenarios relativos al caos. Para ello elegimos un caso de la medicina interna cuyos pacientes se ubican en lo que llamamos “situación limítrofe” (Moreno, 2014; Moreno, Cantoral, 2015); situación sobre la que la predicción clásica (determinística) no opera de la manera descrita anteriormente. La matemática de este problema está siendo aún caracterizada en nuestro grupo de investigación, sin embargo, hemos avanzado en las técnicas de interpretación y toma de decisión, en situación limítrofe, de un médico quien asume, que un pequeño cambio en la dosis, a una cierta frecuencia, producirá, probablemente (esas es su predicción), un efecto positivo que conducirá al paciente hacia una ligera mejoría, hacia un estado cuasi-estable.

En esta ocasión, mostramos el papel que juega la lectura y la interpretación del electrocardiograma (ECG) como recurso válido para la toma de decisiones con variación acotada; el cual consiste en la representación gráfica de los fenómenos eléctricos que tienen lugar en el corazón. El médico general debe, durante la interpretación del ECG, reconocer las variaciones normales debidas a los cambios de polaridad en las células cardíacas y diferenciarlas de aquellas que pueden presentar patología. De esta manera, decimos que el profesional de la medicina realiza un análisis que involucra al cambio y su cuantificación, mediante el uso de estrategias variacionales adecuadas, basado en protocolos y la experiencia propia, es decir, es partícipe, en situación de gravedad extrema de una situación de variación específica. Además, sabemos que el médico reconoce en los gráficos del ECG el dinamismo de los procesos que lo generan, por tanto, lo acepta en su práctica profesional como una herramienta de predicción. Esto último, a diferencia de lo que sucede con los estudiantes o profesores en la educación obligatoria ante el análisis de funciones y gráficas en las que la representación pictórica puede ser para estos un elemento estático.

Este análisis sobre el ECG como herramienta predictiva para los profesionales de la medicina es visto desde la socioepistemología, en particular, desde la línea de investigación del PyLVar. Para ello, recurrimos al análisis de documentos como método de recolección de datos, se revisaron documentos sobre el ECG con la intención, en una primera instancia, de acercarse a la comunidad de estudio, los médicos internistas; posteriormente, se relacionan la técnica de lectura del ECG con elementos del PyLVar. De esta manera, mediante la revisión documental, en relación a esta herramienta predictiva en medicina y la línea de investigación de pensamiento y lenguaje variacional, se plantea la siguiente articulación.

El electrocardiograma

Explicamos a continuación los elementos básicos del funcionamiento del corazón, el cual está separado por aurículas y ventrículos, ambos separados en lado derecho y lado izquierdo (ver figura 1, a)), a través de éstos se puede irrigar de sangre a todo el sistema mediante su contracción-relajación; el lado derecho del corazón es el encargado de transportar la sangre pobre en oxígeno a los pulmones para su oxigenación y el lado

izquierdo del corazón es el encargado de transportar la sangre rica en oxígeno a todo el cuerpo.

Estos fenómenos de *contracción* y *relajación* alternadas son provocados por los cambios de polaridad en las células cardiacas mediante el intercambio de iones de sodio, potasio y calcio; es decir, al ocurrir el intercambio de estos iones en el interior y exterior de la célula se producen los procesos de despolarización y repolarización del conjunto de células, que mediante un sistema de conducción alcanza todo el músculo del corazón; el cual inicia en el nodo sinusal, llega al nodo auriculo-ventricular (AV), sigue por las ramas izquierda y derecha del haz de His hasta llegar a las fibras de Purkinje (ver figura 1, b)).

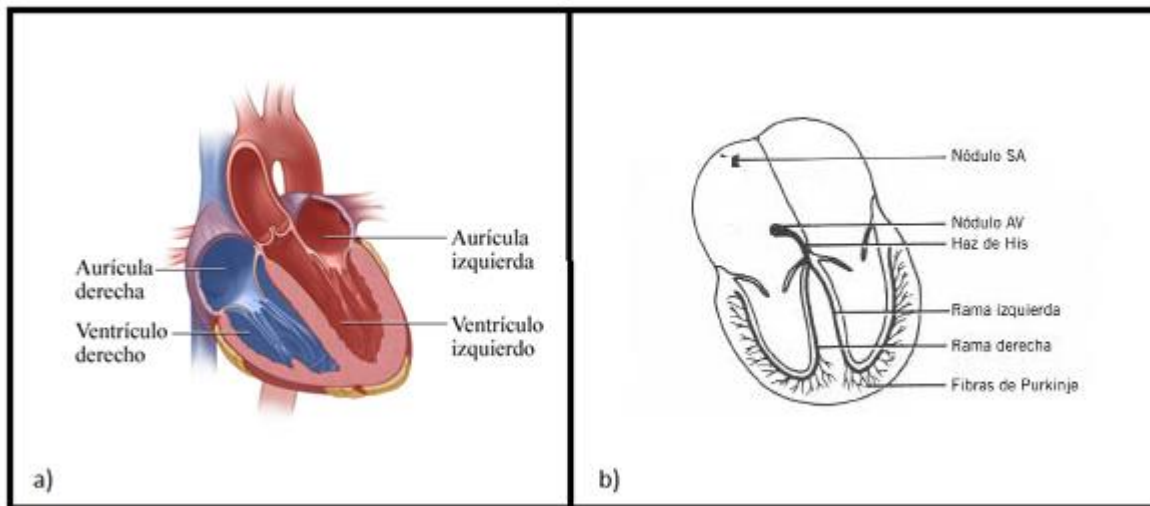


Figura 1. a) Cavidades cardiacas. b) Sistema de conducción eléctrico del corazón.

Para el registro de los procesos de despolarización y de repolarización se construye un sistema de referencia que permita medir la diferencia de potencial en las células cardiacas, este sistema de referencia lo constituyen generalmente doce puntos de observación, los cuales permiten “ver” el corazón desde distintos ángulos en el plano horizontal y vertical. En la figura 2 se muestra el sistema de referencia para cada plano, los puntos de observación o derivaciones son generadas por electrodos ubicados en lugares estratégicos. Por ejemplo, para el caso del plano frontal (figura 2, a)) las derivaciones son generadas por electrodos que se colocan en las extremidades, DI mide la diferencia de potencial considerando al electrodo del brazo derecho y el del brazo izquierdo, DII considerando al electrodo del brazo derecho y la pierna izquierda, DIII considerando al electrodo en el brazo izquierdo y en la pierna izquierda; las derivaciones unipolares aVL, aVF, aVR se generan con el electrodo de la mano izquierda, pierna izquierda y mano derecha, respectivamente.

Respecto al plano horizontal los puntos de observación V1, V2, V3, V4, V5, V6, tienen la misma naturaleza de los unipolares, es decir, se mide la diferencia de potencial entre un punto con carga casi cero y el electrodo correspondiente (figura 2, b). Al respecto de este sistema de referencia, que permiten analizar el funcionamiento del corazón en distintos ángulos, existen investigaciones donde se muestra la necesidad de su construcción para la interpretación de fenómenos de cambio.

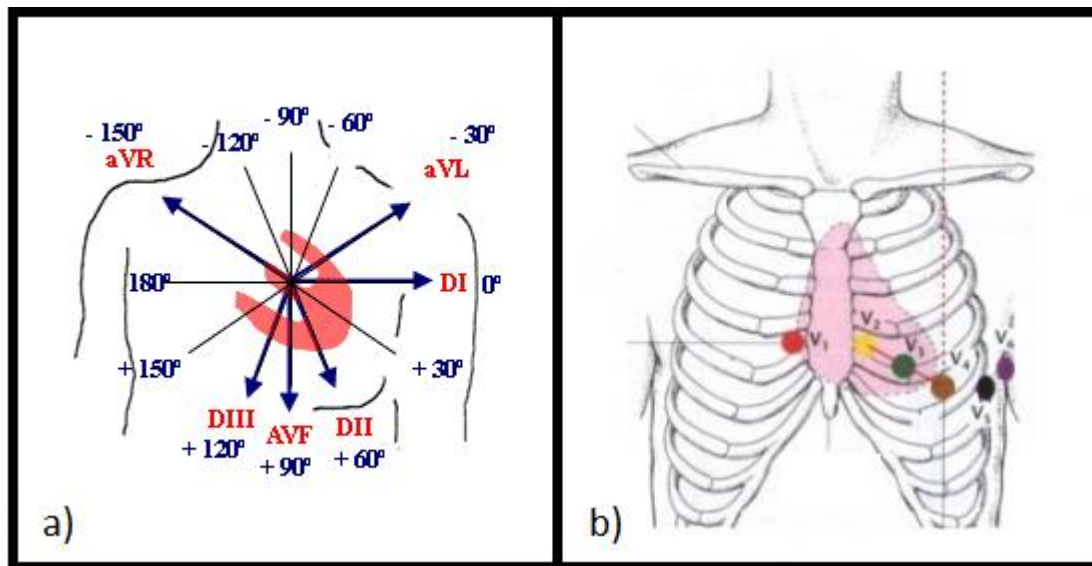


Figura 2. a) Derivaciones del plano frontal. b) Derivaciones de plano horizontal

Estrategias variacionales en la lectura del electrocardiograma

El uso de las estrategias variacionales de comparación y de seriación es elemental en el estudio de la variación, mientras que las estrategias de estimación y predicción se consideran más avanzadas pues requieren, además del estudio de las variaciones, procesos cognitivos de abstracción, síntesis y el uso de esa información para la anticipación (Caballero, 2012). En ese sentido, mostramos enseguida situaciones en la interpretación del ECG donde se hace uso de la comparación y la seriación, entendiendo que la predicción y la estimación se ven reflejadas en el proceso de diagnóstico y el tratamiento que se proporciona a los pacientes.

La despolarización auricular se representa en el ECG con la onda P, la despolarización de los ventrículos se representa con el complejo QRS y la repolarización ventricular está representada con la onda T; figura 3, a). Estos fenómenos son representados en el ECG desde las doce derivaciones, figura 3 b). Para identificar el "signo" de la onda (positiva cóncava hacia abajo y negativo cóncavo hacia arriba) y la "magnitud" de la onda se debe *comparar* el ángulo que forman cada una de las derivaciones con el vector resultante de los procesos eléctricos, despolarización y repolarización, en cada cavidad cardiaca. Por ejemplo, para conocer la magnitud y signo de la onda P se compara el ángulo que forma el vector resultante de la despolarización de las aurículas y cada derivación; si este ángulo es mayor que 90° la onda será negativa, si es menor que 90° será positiva y si el ángulo es 90° se traza una línea isoeletrica (línea sin concavidad).

Identificamos también en el cálculo del eje cardiaco, el cual proporciona una visión global de la actividad eléctrica del corazón, la estrategia variacional de comparación. Este cálculo surge de la identificación de las derivaciones en las que el voltaje registrado en el complejo QRS es mayor y donde el gráfico del complejo QRS es isodifásico, es decir, hay una "compensación" entre las magnitudes de la onda positiva (onda R) y de la negativa (onda S). Esto es, se tiene que *comparar* el complejo QRS en todas las derivaciones y elegir la

que cumpla con las características señaladas, con base en ellas se hace el cálculo del eje cardiaco.

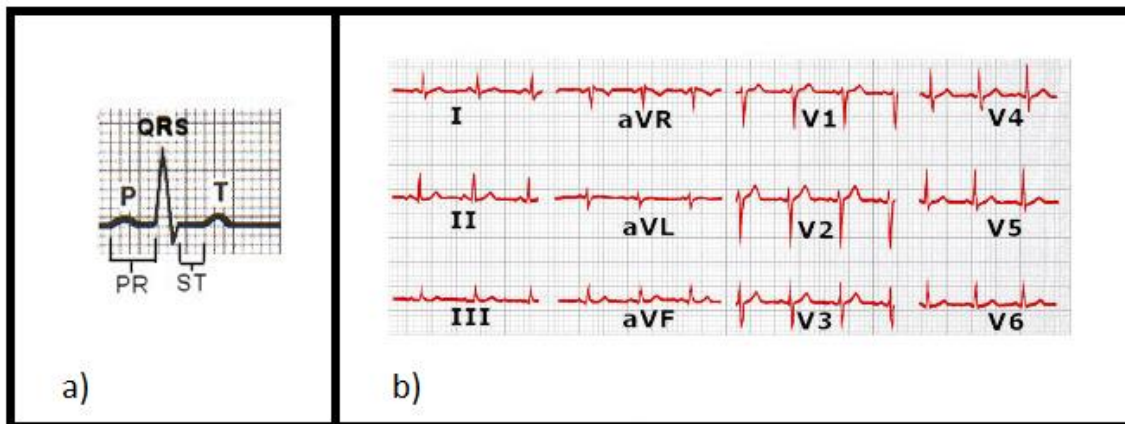


Figura 3. a) Ciclo completo de los procesos de despolarización y repolarización. b) Procesos de despolarización y repolarización en las doce derivaciones.

Por otro lado, el electrocardiograma provee al médico de herramientas para la toma de decisiones, por ejemplo, si las ondas P (despolarización auricular) dura más tiempo de lo normal o el voltaje que registra es mayor a ciertos valores predeterminados se puede inferir crecimiento auricular izquierdo y derecho, respectivamente; situación en la que identificamos la *comparación* de valores estándares con los obtenidos en el ECG.

Respecto a la estrategia variacional de *seriación* la identificamos, por ejemplo, cuando el médico analiza el segmento PR, el cual empieza en la onda P y termina al inicio de la onda Q o la onda R, en la búsqueda de posibles bloqueos auriculo-ventriculares. Una de las características en el ECG del bloqueo auriculo-ventricular de segundo grado Mobitz I es el alargamiento progresivo del intervalo PR hasta que una onda P se bloquea, es decir, no se sigue de un complejo QRS (Castellano, Pérez, Attie, 2004); sostenemos que para identificar este alargamiento progresivo el médico debe analizar varios ciclos completos en algunas derivaciones, lo que caracteriza precisamente a la *seriación* que a diferencia de la *comparación* requiere del análisis de más de dos estados.

Reflexiones finales

Hemos mostrado cómo se relacionan las estrategias variacionales de *seriación* y *comparación* con la práctica profesional del médico, cuando éste interpreta un ECG. Con ello vinculamos estudios en la línea de investigación de Pensamiento y Lenguaje Variacional con nuevos proyectos de investigación que pretenden extender los resultados de esta línea, que se ha desarrollado en tópicos de Análisis Matemático clásico, hacia el estudio de sistemas complejos como lo son las dinámicas propias de los sistemas fisiológicos de los seres humanos. Sobre las estrategias de predicción y estimación las asumimos como elementos intervinientes en el diagnóstico y tratamiento en pacientes con base en los argumentos que provee la interpretación del ECG.

Este análisis nos ha permitido avanzar en dirección de la investigación sobre el estudio de un principio que asociamos al pensamiento matemático, que hemos denominado en nuestro grupo de investigación como *principio estrella* (P*); sostenemos a este principio como un

mecanismo directamente relacionado con la predicción, intermedio entre las prácticas predictivas y la normatividad de la práctica social del Praedicere.

La relación entre el análisis que mostramos en este documento y la investigación sobre la participación del P* en la práctica del médico internista está en función de los efectos que tienen las variaciones en el corazón para el mantenimiento o provocación de un estado de cuasi-estabilidad en los seres humanos, ya que estas variaciones pueden ser provocadas no solo por motivos propios del funcionamiento del corazón o alguna enfermedad cardíaca sino del sistema en general. Como siguiente momento de la investigación, estamos interesados en comprender el efecto de una perturbación en el corazón, como lo es el marcapasos artificial, en su cuasi-estabilidad.

Por último, consideramos que investigaciones como la nuestra favorecen en el ámbito didáctico a la inclusión de elementos sobre "lo variacional" en otros escenarios, por ejemplo, el escenario médico como el que aquí reportamos. Sobre ello, el contenido de los libros de texto de Cálculo Diferencia e Integral cuando aluden a ejemplos realistas, presentan enunciados provenientes de una matematización de la física clásica bajo los enfoques determinísticos (caída libre, tiro parabólico o movimiento rectilíneo uniforme). En otros casos, si bien emplean modelos no determinísticos como el crecimiento en Biología, estos son reducidos a una aritmética de lo exponencial como la bipartición o más en general e^x . En nuestra opinión, es fundamental impulsar la investigación en Matemática Educativa para tratar con la matemátización de fenómenos no determinísticos que sean cercanos a la realidad de todo ciudadano del siglo XXI, pues ello coadyuva al desarrollo del pensamiento y lenguaje variacional.

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 no publicada. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. DF: México.
- Cantoral, R., Farfán, R., Lezama, J., Martínez, G. (2006). Socioepistemología y representación: Algunos Ejemplos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, Número Especial, 83-102.
- Cantoral, R. (2013). *Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa. Estudios sobre construcción social del conocimiento matemático*. Gedisa: Barcelona.
- Castellano, C., Pérez, M., Attie, F. (2004). *Electrocardiografía clínica*. Elsevier: Madrid.
- Moreno, G. (2014). *Anteproyecto doctoral "Socioepistemología: Matemáticas y Medicina. Elementos para el estudio de principio estrella: p*"*. Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav, IPN.
- Moreno, G., Cantoral, R. (2015). Socioepistemología: Medicina y Matemáticas. Elementos para el estudio de principio estrella. En F. Rodríguez y R. Rodríguez (Eds.). *Memoria de la XVII Escuela de Invierno en Matemática Educativa. La Profesionalización Docente desde los Posgrados de Calidad en Matemática Educativa 17*, 59-66. Oaxaca: CIMATES

Pérez-Lescure, J. (2011). Taller de lectura sistemática del electrocardiograma pediátrico o cómo interpretar un electrocardiograma y no perecer en el intento. *Revista Pediatría Atención Primaria Suplemento 20*, 225-233.

Salinas, S. (2003). *Un estudio sobre la evolución de ideas variacionales en los cursos introductorios al cálculo*. Tesis de maestría no publicada, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. DF: México.

Autores

Gloria Angélica Moreno Durazo; CINVESTAV, IPN. México; gamoreno@cinvestav.mx

Ricardo Cantoral Uriza; CINVESTAV, IPN. México; rcantor@cinvestav.mx