# El gráfico de series de tiempo: una herramienta analítica sencilla para aprender de la variación en los procesos de atención de la salud

Rocco J Perla, <sup>1</sup> Lloyd P Provost, <sup>2</sup> Sandy K Murray<sup>3</sup>

Un cuadro de texto adicional se publica únicamente en línea. Para ver este archivo por favor visite la publicación en línea (http://qualitysafety.bmj.com).
 <sup>1</sup>UMass Memorial
 Health Care, Worcester

<sup>1</sup>UMass Memorial Health Care, Worcester, Massachusetts, USA <sup>2</sup>Associates in Process Improvement, Austin, Texas, USA <sup>3</sup>Corporate Transformation Concepts, Eugene, Oregon, USA

## Dirigir la correspondencia

procesos.

Dr Rocco J Perla, Office of Quality and Patient Safety, Center for Innovation and Transformational Change, 22 Shattuck Street, Worcester, MA 01605, USA;

rocco.perla2@umassmemorial.org

Aceptado el 26 Julio, 2010

Contexto: Quienes trabajan actualmente en el campo de atención de la salud se enfrentan más que nunca al desafío de aprender rápida y eficientemente de los datos con el fin de mejorar sus servicios y la atención brindada. Es ampliamente reconocido que los profesionales de la salud al frente de la atención se benefician en gran medida del despliegue visual de los datos presentados en orden cronológico.

Objetivo: Describir el gráfico de series de tiempo—una herramienta analítica comúnmente usada por profesionales en el mejoramiento de la calidad, pero subutilizada en la atención de la

salud.

Metódos: Se desarrolla un enfoque estándar para la elaboración, uso e interpretación de los gráficos de series de tiempo aplicados a la atención de la salud, basado en la literatura sobre el control estadístico de

Discusión: Los gráficos de series de tiempo nos permiten comprender de forma objetiva, con mínima complejidad matemática, si los cambios que hacemos en un proceso o sistema a través del tiempo conducen a mejoras. Este método para analizar y reportar datos resulta más valioso para los proyectos y equipos de mejoramiento que las tradicionales estadísticas de resumen que ignoran el orden cronológico. Debido a su utilidad y sencillez, el gráfico de series de tiempo tiene gran potencial de aplicación en el campo de atención de la salud para los profesionales y quienes están a cargo de la toma de decisiones. Los gráficos de series de tiempo también proporcionan el fundamento para métodos más sofisticados de análisis y aprendizaje como los gráficos (de control) de Shewhart y la experimentación planificada.

Las habilidades vinculadas al uso de datos para el mejoramiento varían mucho entre quienes trabajan para mejorar la atención de la salud. A continuación describimos una herramienta analítica sencilla comúnmente utilizada por profesionales del mejoramiento de la calidad, pero subutilizada en el campo de atención de la salud –el gráfico de series de tiempo. Para aquellos profesionales de la salud que utilizan gráficos de series de tiempo, estos proporcionan una fuente valiosa de información y aprendizaje, no sólo para los médicos sino también para los pacientes. El siguiente escenario descrito por Neuhauser y Diaz<sup>2</sup> ofrece un ejemplo de la sencillez de los gráficos de series de tiempo y su amplio potencial de aplicación en la atención de la salud:

Susan Cotey es una educadora sobre la diabetes en el Hospital Huron en Cleveland, Ohio. Ella entrega papel para graficar a pacientes diabéticos de edad avanzada que viven en las partes más pobres de su ciudad. Utiliza un libro de auto-ayuda diseñado específicamente para sus pacientes. Cada paciente recibe una copia. Ella les pide que grafiquen mediciones de su nivel de azúcar en la sangre a través del tiempo, conecten los puntos y lleven sus gráficos a los pequeños grupos de discusión de pacientes similares que comparten su experiencia y aprenden sobre el auto-manejo de la diabetes (dieta, ejercicio, control del peso). Casi todos los pacientes llevan su gráfico a las reuniones. La gran mayoría de pacientes mejoran su control de la diabetes. Este hospital ha convertido el manejo de la diabetes en un punto central de su misión de atención de la salud.

El uso de gráficos de series de tiempo por parte de estos pacientes con diabetes resume el espíritu de este artículo —el gráfico de series de tiempo tiene un rol que desempeñar en el trabajo de mejoramiento de la atención de salud.

Pese a que muchos profesionales de la salud actualmente reconocen el valor de los métodos, aplicaciones, y herramientas de control estadístico de los procesos para mejorar la calidad de la atención, gran parte de este énfasis dentro de la literatura de mejoramiento recae sobre los gráficos (de control) de Shewhart y sus varios derivados (como gráficos de suma acumulada y gráficos de embudo). Muy poco se ha escrito sobre el uso y aplicación de los gráficos de series de tiempo.

El gráfico de series de tiempo nos permite aprender mucho sobre el desempeño de nuestro proceso con mínima complejidad matemática. Específicamente, proporciona un método sencillo para determinar si un proceso exhibe patrones no aleatorios, lo que llamamos una 'señal'. Al centrarse sobre el orden cronológico en que fueron recolectados los datos, el gráfico de series de tiempo puede aplicarse cuando los métodos tradicionales para determinar la significación estadística (prueba t, chi-cuadrado, prueba F) no resultan útiles. Entre los usos importantes del gráfico de series de tiempo para las actividades de mejoramiento se encuentran los siguientes<sup>4</sup>:

- Exhibir datos para hacer visible el desempeño del proceso
- Determinar si los cambios ensayados dieron como resultado mejoras
- Determinar si estamos sosteniendo los beneficios alcanzados por el mejoramiento
- Permitir una visión cronológica (analítica) de los datos versus una visión estática (enumerativa)

Exponer los datos en un gráfico de series de tiempo a menudo constituye el primer paso para desarrollar gráficos de (control) de Shewhart más complejos<sup>4 5</sup> y para el diseño de experimentos planificados.<sup>67</sup> En este artículo delineamos brevemente la elaboración, interpretación y uso de los gráficos de series de tiempo.

# DEFINICIÓN Y ELABORACIÓN DE UN GRÁFICO DE SERIES DE TIEMPO

Un gráfico de series de tiempo consiste en un despliegue de datos trazados en algún tipo de orden. La mayor parte de veces, el eje horizontal es una escala de tiempo (por ej., días, semanas, meses, trimestres), pero también puede incluir número de pacientes, visitas o procedimientos consecutivos. El eje vertical representa el indicador de calidad bajo estudio (p. ej., tasa de infección, número de caídas de pacientes, tasa de readmisión). Usualmente, la mediana se calcula y utiliza como la línea central del gráfico. La mediana es necesaria cuando se utilizan reglas que se basan en la probabilidad para poder interpretar un gráfico de series de tiempo (ver más adelante). La mediana se usa como línea central ya que (1) proporciona el punto en el que se espera que la mitad de observaciones se ubiquen arriba y debajo de la línea central, y (2) la mediana no se ve influenciada por valores extremos en los datos. También pueden añadirse al gráfico de series de tiempo líneas meta y anotaciones sobre cambios y otros eventos. La Figura 1 muestra un ejemplo de un gráfico de series de tiempo. Como ilustra la figura 1, el gráfico de series de tiempo nos ayuda a comprender y visualizar el impacto de diferentes intervenciones y ensayos de cambios a lo largo del tiempo. Para poder determinar objetivamente cuándo estos datos indican una mejora en el proceso empleamos la mediana y las reglas para gráficos de series de tiempo descritas en la siguiente sección.

La principal ventaja de usar un gráfico de series de tiempo es que conserva el orden cronológico de los datos, a diferencia de las pruebas estadísticas de significación que generalmente comparan dos o más sets de datos agregados.

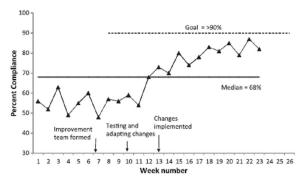


Figura 1 Ejemplo de un gráfico de series de tiempo que demuestra el cumplimiento de un procedimiento estándar.

Por ejemplo, la estadística de resumen que se observa en la figura 2 parece mostrar que hay una mejora en los datos que van de antes a después, atribuida a un cambio en el sistema. Las estadísticas de resumen para cada una de las tres unidades donde se ensayó el cambio que aparecen en la figura 2 producen la misma media y DE pre-ensayo (70 min, 11.3 min) y la misma media y DE post-ensayo (30 min, 13.15 min). Más aún, una prueba t produjo un resultado altamente significativo ( $t_{22}$ =7.88, p<0.001). No obstante, la pregunta que deseamos contestar no es si nuestro cambio fue estadísticamente significativo, sino si el cambio está asociado a una meiora sostenible en cada unidad donde el cambio fue ensayado. Los datos de la Unidad 1 arrojarían el gráfico de barras en la figura 2 y apoyarían la conclusión de que hemos alcanzado una mejora sostenible. Los datos de la Unidad 2 arrojarían el mismo gráfico de barras, pero los datos aquí revelan que la mejora ya estaba ocurriendo antes de que el cambio fuese ensayado. Los datos de la Unidad 3 también darían como resultado el mismo gráfico de barras. En la Unidad 3 el cambio resultó en una mejora, sin embargo, no fue sostenido. El visualizar los datos a través del tiempo en lugar de estadísticas de resúmenes genera datos más ricos y conclusiones más exactas para los proyectos mejoramiento.

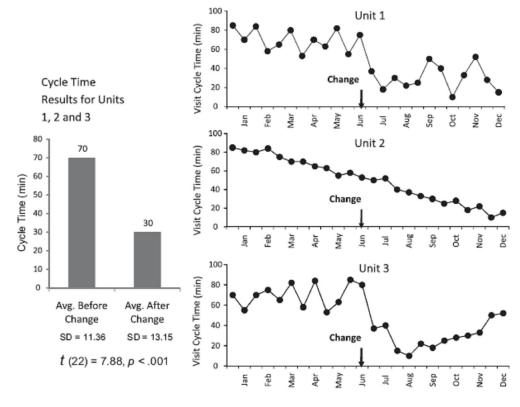
## REGLAS QUE AYUDAN A INTERPRETAR UN GRÁFICO DE SERIES DE TIEMPO

Cuando se presentan datos sobre mejoras en la atención de la salud (p. ej., informes clínicos, tableros de control, actualizaciones de proyectos, e informes de junta), las personas a menudo sobrereaccionan o subreaccionan ante un único o más reciente punto de datos (y empiezan a manipular las cosas, posiblemente empeorándolas).8 Los términos 'desplazamiento' У 'tendencia' a menudo se indiscriminadamente de forma subjetiva como medios para impulsar una conversación o decisión hacia delante, sin reconocer que existen definiciones estadísticas de dichos términos basadas en más datos que un único punto. Las tres reglas basadas en la probabilidad que se describen más adelante se usan para analizar objetivamente un gráfico de series de tiempo buscando evidencia de patrones no aleatorios en los datos en base a un  $\alpha$  error de p<0.05. Aunque no existe nada mágico sobre el nivel de significación de 0.05, este proporciona un umbral estadístico objetivo para determinar si los cambios están conduciendo a mejoras o deterioros dentro de un proceso y es consistente con la práctica común en investigación. El umbral puede volverse más o menos estricto en función de la situación particular, pero es de importancia crítica establecer un enfoque común acordado especialmente si muchas personas están haciendo observaciones y actuando en función de los datos presentados. Las reglas que se presentan a continuación son adecuadas para proyectos de mejoramiento de la calidad (en los que las mejoras son planificadas y esperadas) y han demostrado ser efectivas para detectar señales en un amplio rango de aplicaciones en el campo de la atención de la salud. 9 10

## Regla 1 -desplazamiento

Seis o más puntos consecutivos que se ubican todos arriba o todos debajo de la mediana. Los valores que recaen sobre la mediana no contribuyen a definir un desplazamiento ni lo perjudican. Pase por alto todos los valores que recaen en la mediana y continúe contabilizando.

Figura 2 Estadísticas de resumen versus datos en orden cronológico. (Cada unidad tiene los mismos 24 valores de datos ordenados de forma diferente a través del tiempo.)



## Regla 2 -tendencia

Cinco o más puntos consecutivos todos en dirección hacia arriba o todos en dirección hacia abajo. Si el valor de dos o más puntos consecutivos es el mismo, solamente contabilice el primer punto e ignore los valores repetidos; los valores iguales no favorecen ni disuelven una tendencia.

## Regla 3 -corridas

Muy pocas o demasiadas corridas o cruces de la línea mediana señalan un patrón no aleatorio. 12 Una corrida consiste en una secuencia de puntos ubicada hacia un lado de la mediana. Si el proceso medido con un gráfico de series de tiempo está siendo influenciado únicamente por el azar, entonces los puntos de datos se ubicarán con regularidad arriba y debajo de la mediana a fin de satisfacer esta condición. Algunos puntos pueden recaer exactamente sobre la línea mediana, lo cual vuelve difícil decidir a qué corrida pertenecen estos puntos. Una manera fácil de determinar el número de corridas es contar el número de veces que la línea que conecta los puntos de datos cruza la mediana y añadir uno. Para determinar si existen muy pocas o demasiadas corridas se utiliza un cuadro que agrupa valores críticos (ver cuadro 1). La Figura 3 muestra un ejemplo de un gráfico de series de tiempo con muy pocas corridas, siendo posible que una intervención esté evitando que los datos caigan nuevamente debajo de la mediana que es dónde tenderían a ir si los datos fuesen aleatorios.

#### Regla 4 -punto astronómico

Usada para detectar números inusualmente grandes o pequeños. Un punto de datos astronómico es obviamente diferente del resto de los puntos; todos quienes observen el gráfico estarían de acuerdo con que el punto es inusual. Los puntos astronómicos no deben ser confundidos con los puntos de datos más grandes o más pequeños que todo gráfico de series de tiempo tendrá.

Mientras que las Reglas 1, 2 y 3 se basan en la probabilidad, la Regla 4 es subjetiva y reconoce la importancia del despliegue visual de los datos en un gráfico de series de tiempo.

La Figura 3 muestra las cuatro reglas para identificar señales no aleatorias mediante gráficos de series de tiempo. Estas reglas, como cualquier otra, sólo pueden ser entendidas en el contexto dentro del cual están siendo aplicadas. No obstante, el tener directrices sencillas y consistentes para distinguir entre variación aleatoria y señales no aleatorias constituye una parte importante del aprendizaje en función de los datos.

Una buena técnica al usar un gráfico de series de tiempo con fines de conocer el impacto de los cambios es crear una mediana inicial empleando datos de línea de base. Si los datos basales provienen de un proceso que no exhibe señales (desplazamientos, tendencias, corridas, punto astronómico de datos), extienda o 'congele' esta mediana inicial hacia el futuro. Al usar los datos basales y extender la mediana hacia el futuro, no se permite que nuevos datos influencien la mediana inicial. Cualquier cambio en los nuevos datos contrasta claramente con la mediana basal, permitiendo una detección más precisa de señales de mejoramiento (las reglas basadas en la probabilidad son relativas respecto a este valor de la mediana) Estos es particularmente importante a medida que tratamos de entender el impacto de diferentes cambios en un sistema a lo largo del tiempo.

Con una cantidad pequeña de datos, la mediana (y por ende las reglas previamente descritas) puede no ser útil. Las reglas sobre desplazamientos y corridas requieren más de 10 puntos para ser aplicables. Pero el usuario debe decidir cuándo calcular la mediana al iniciar el gráfico de series de tiempo. Hay muchas aplicaciones (p. ej., el monitoreo de pruebas anuales de PSA) en las que el gráfico de series de tiempo es útil con tan sólo tres o cuatro puntos de datos a fin de obtener un indicación temprana del patrón y tendencia central.

Cuadro 1 Determinar si existen demasiadas o muy pocas corridas en un gráfico de series de tiempo. El Cuadro se basa en un riesgo de aproximadamente 5% de fallar el test de comportamiento para patrones aleatorios de datos

Número total de puntos de datos en un gráfico de series de tiempo que no caen en la mediana	Límite inferior para el número de corridas (< a este número son 'muy pocas')	
10	3	9
11	3	10
12	3	11
13	4	11
14	4	12
15	5	12
16	5	13
17	5	13
18	6	14
19	6	15
20	6	16
21	7	16
22	7	17
23	7	17
24	8	18
25	8	18
26	9	19
27	10	19
28	10	20
29	10	20
30	11	21
31	11	22
32	11	23
33	12	23
34	12	24
35	12	24
36	13	25
37	13	25
38	14	26
39	14	26
40	15	27
41	15	27
42	16	28
43	16	28
44	17	29
45 46	17 17	30 31
47	18	31
48	18	32
49	19	32
50	19	33
51	20	33
52	20	34
53	21	34
54	21	35
55	22	35
56	22	35
57	23	36
58	23	37
59	24	38
60	24	38
Fuente: Adaptado de Swed y Eisenhart. 12		

En el caso de pruebas de PSA, usualmente no tenemos el lujo de contar con muchos puntos de datos pero aún así necesitamos aprender de los datos para facilitar la toma de decisiones clínicas.

## **LIMITACIONES**

Como sucede con cualquier herramienta analítica, los gráficos de series de tiempo tienen limitaciones. En primer lugar, los gráficos de series de tiempo están diseñados para la detección temprana de señales de mejoras o deterioros en un proceso a través del tiempo. Sin embargo, los gráficos de series de tiempo no son capaces de establecer si un proceso es estable (como lo define Shewhart en relación a los gráficos de control únicamente). Usar el lenguaje de los gráficos de control para los gráficos de series de tiempo puede crear confusión porque los dos métodos involucran reglas diferentes para identificar patrones no aleatorios. Los gráficos de Shewhart identifican desviaciones de la línea central (la media, no la mediana) usando límites de control. La Figura 4 muestra un gráfico de series de tiempo sin señales de variación no aleatoria. Algunos podrán estar tentados a declarar este proceso como estable. No obstante, al desplegar los mismos datos en el gráfico de Shewhart adecuado, estos revelan causas especiales. Este proceso no es estable. Determinar si un proceso es estable es importante para comprender si las mejoras han sido sostenidas y para predecir el desempeño futuro, lo que tendrá un impacto sobre la toma de decisiones. Para determinar si un proceso o sistema se encuentra en estado estable, se requiere de un gráfico (de control) de Shewhart.<sup>4</sup> <sup>5</sup> <sup>13</sup> Al usar gráficos de series de tiempo recomendamos evitar los términos causa común y especial, y estable o no estable, reservando su uso para los gráficos (de control) de Shewhart.

En segundo lugar, existen situaciones en contextos de atención de la salud donde los datos son discretos lo cual puede hacer más complejo el uso de las reglas para gráficos de series de tiempo. Por ejemplo, si 50% o más de los datos en un gráfico de series de tiempo representan los valores extremos absolutos de la escala (p.ej., 0 o 100% en una escala de porcentaje), no se pueden aplicar los criterios para detectar una señal estadística no aleatoria utilizando la mediana. En estos casos, los datos no arrojarán una mediana útil haciendo inservible su aplicación en las reglas. La mediana constituirá en sí misma el valor extremo absoluto (0% o 100%). En estas ocasiones, se puede usar la media como línea central (si no se observan valores de datos extremos). Otra opción sería desplegar el tiempo (p. ej., días) o carga de trabajo (p. ej., número de casos) entre eventos en el gráfico de series de tiempo, graficando cada vez que un evento suceda. 4 5 Más tiempo o carga de trabajo entre eventos no deseados puede ser una señal de mejoramiento. Aunque se encuentran más allá del alcance de este artículo, existen estrategias para modificar los gráficos de series de tiempo a fin de subsanar este tipo de situaciones de datos inusuales. 4 6

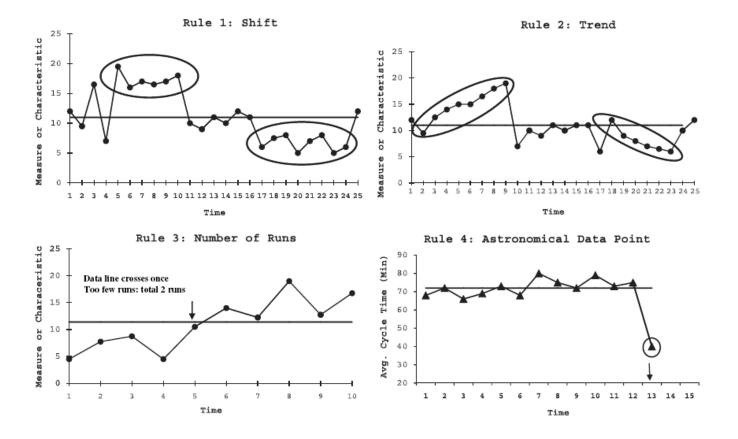
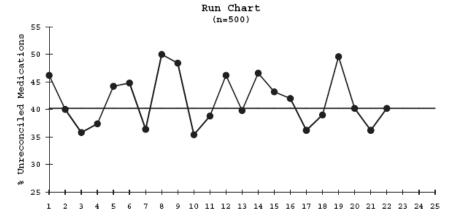
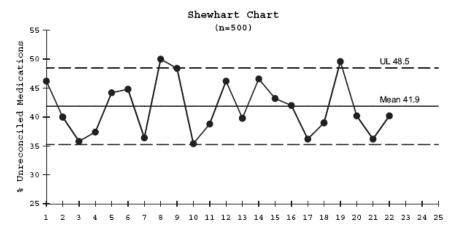


Figura 3 Reglas para identificar señales no aleatorias empleando gráficos de series de tiempo.

Figura 4 Los mismos datos analizados usando un gráfico de series de tiempo y un gráfico de Shewhart





En tercer lugar, como se mostró en el ejemplo de la figura 2, los gráficos de series de tiempo demandan comprensión y criterio sobre el contexto y situación en que los datos son recolectados y presentados ya que, en un última instancia, es el contexto de una situación el que direcciona nuestras predicciones y metas. Por último, los proveedores y profesionales de salud están mayormente capacitados en estadísticas de resumen de agregados y pruebas de hipótesis, que a menudo se basan en cantidades grandes de datos ubicados a intervalos distantes. Usar los gráficos de series de tiempo y otras herramientas de control estadístico de procesos demanda un monitoreo y recolección de datos más regular con el propósito de comprender mejor la voz del proceso (y a veces la voz del paciente). Quienes lideran los esfuerzos de mejoramiento utilizando estas herramientas deben reconocer el potencial que posee la recolección más frecuente de datos a lo largo de períodos de tiempo más cortos. (ver el recuadro en línea).

## CONCLUSIÓN

Los gráficos de series de tiempo son fáciles de construir y sencillos de interpretar. Dado que las mejoras se realizan a través del tiempo, el trazar los datos cronológicamente usando un gráfico de series de tiempo constituye un método fundamental para evaluar el éxito de los esfuerzos de mejoramiento de manera objetiva. El gráfico de series de tiempo es por lo tanto una herramienta importante con un amplio potencial de aplicación en el mejoramiento de la atención de la salud. Algunas organizaciones de atención de la salud utilizan actualmente los gráficos de series de tiempo como parte de sus esfuerzos de mejoramiento de procesos, pero la gran mayoría no lo hace. Sin una medición objetiva y sencilla del cambio y mejoramiento nos resta sólo la especulación, intuición, evaluaciones subjetivas o la aplicación de enfoques estadísticos inadecuados. Existe un creciente reconocimiento de la importancia de las herramientas de medición de la calidad, como los gráficos de series de tiempo, para la investigación y la experimentación planificada, las cuales determinan cómo pensamos y comprendemos los sistemas y resultados que deseamos Por largo tiempo se ha abogado porque las estadísticas de resumen incluyan siempre mediciones de los

datos en su orden cronológico natural como un medio de adquirir conocimiento  $^{13}\ \ ^{14}$ 

El valor de un gráfico de series de tiempo radica en su sencillez y versatilidad para permitirnos aprender de nuestros datos. Al añadir algunas reglas basadas en la probabilidad para facilitar la interpretación, obtenemos una perspectiva del proceso a través del tiempo y un método para identificar sistemáticamente señales no aleatorias. La información brindada en este artículo proporciona el conocimiento para empezar a explorar y utilizar los gráficos de series de tiempo como herramientas analíticas para proyectos de mejoramiento de la atención de la salud.

#### Conflicto de intereses Ninguno.

Procedencia y revisión de otros profesionales No comisionada; revisión externa.

#### REFERENCIAS

- Ott E. Process Quality Control. New York: McGraw-Hill Book Company, 1975:34e44.
- Neuhauser D, Diaz M. Quality improvement research: are randomised trials necessary? Qual Saf Health Care 2007;16:77e80.
- Thor J, Lundberg J, Ask J, et al. Application of statistical process control in healthcare improvement: systematic review. Qual Saf Health Care 2007;16:387e99.
- Provost L, Murray S. The Healthcare Data Guide: Learning from Data for Improvement. San Francisco: Jossey-Bass, Publication, 2011.
- Benneyan JC, Lloyd RC, Plsek PE. Statistical process control as a tool for research and healthcare improvement. Qual Saf Health Care 2003;12:458e64.
- Moen RD, Nolan TW, Provost LP. Quality Improvement Through Planned Experimentation. McGraw-Hill, 1999.
- Speroff T, O'Connor G. Study designs for PDSA quality improvement research. Qual Manag Health Care 2004;13:17e32.
- Deming WE. The New Economics: For Industry, Government, Education. Cambridge, MA: MIT Press, 1994.
- Langley GJ, Moen RD, Nolan KM, et al. The Improvement Guide: A Practical Approach To Enhancing Organizational Performance. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2009.
- Lloyd RC. Quality Health Care: A Guide To Developing And Using Indicators. Boston, MA: Jones and Bartlett, 2004.
- Olmstead Pl. Distribution of sample arrangements for runs up and down. Ann Math Stat 1945;17:24e33.
- Swed FS, Eisenhart C. Tables for testing randomness of grouping in a sequence of alternatives. Ann Math Stat 1943;14:66e87.
- Shewhart WA. The Economic Control Of Quality Of Manufactured Product. New York: D Van Nostrand, 1931.
- Deming WE. On probability as a basis for action. Am Stat 1975;29:146e52.



## El gráfico de series de tiempo: una herramienta analítica para aprender de la variación en procesos de atención de la salud

Rocco J Perla, Lloyd P Provost and Sandy K Murray

BMJ Qual Saf 2011 20: 46-51

doi: 10.1136/bmjqs.2009.037895

Se puede encontrar información y servicios actualizados en:

http://qualitysafety.bmj.com/content/20/1/46.full.html

Estos incluyen:

Suplemento informativo

"Datos sólo en Internet"

http://qualitysafety.bmj.com/content/suppl/2011/01/20/20.1.46.DC1.html

Referencias

Este artículo cita 7 artículos, a 3 de los cuales se puede acceder

libremente en:

http://qualitysafety.bmj.com/content/20/1/46.full.html#ref-list-1

Servicio de alerta por correo electrónico

Reciba alertas por correo electrónico cuando nuevos artículos citen este artículo. Suscríbase en el recuadro ubicado en la esquina

superior derecha del artículo en línea.

**Notas** 

Para obtener autorizaciones vaya a: http://group.bmj.com/group/rights-licensing/permissions

Para ordenar reimpresiones vaya a: http://journals.bmj.com/cgi/reprintform

Para suscribirse a BMJ vaya a: http://group.bmj.com/subscribe/