



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Elicitación de los Límites de Control de una Carta de Control Bayesiana

Carlos Alberto Hurtado Castaño

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Escuela de Estadística
Medellín, Colombia
2014

Elicitación de los Límites de Control de una Carta de Control Bayesiana

Carlos Alberto Hurtado Castaño

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias - Estadística

Director:
Juan Carlos Correa Morales PhD.

Línea de Investigación:
Estadística Industrial
Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Escuela de Estadística
Medellín, Colombia
2014

Dedicatoria

A mi esposa Diana y a mis hijos Daniela y Miguel por dejar que me apartara de ellos tantas horas para lograr esta meta y aún así marchar junto a mí hasta lograrlo.

A mi mamá Pilar, quién siempre infunde confianza y serenidad mientras camino al éxito, sin ella esto hubiese sido imposible.

A mi hermano Wilson David, por convertirse en mi polo a tierra, demostrandome que en la juventud se puede tener metas y lograrlas. en adelante nuestro eslogan será *¡Claro que podemos!*

A mis abuelos Miguel y Lola quienes siempre están ahí, Conmigo y quienes con su ejemplo pusieron en mi rumbo metas altas que alcanzar.

A mi amigo del alma Jorge Gómez, quien no me abandonó nunca en el camino para cumplir esta meta.

Los amo a todos.

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a todos aquellos que de una u otra forma han colaborado, contribuido o aportado en el desarrollo de este trabajo, especialmente al profesor Juan Carlos Correa pues sin sus aportes esto no sería una realidad; a Sandra Velásquez quién me impulsó en momentos de debilidad por el camino correcto.

A Wilson Quintero: Amigo, muchas palabras inteligentes para un tipo tan sordo para ellas como yo, se te quiere.

Resumen

El Control estadísticos de procesos en la actualidad requiere, además de los datos históricos, del conocimiento y la experticia de aquellos que él intervienen. En este trabajo se pretende mostrar un método para la introducción de este conocimiento con base en herramientas de fácil implementación, el cual está constituido por el método propuesto por Ishikawa (1986) como primera parte del proceso, seguida del uso de la metodología Delphi (Landaeta 1999) en tres rondas, concluyendo en tercera ronda no con un cuestionario, sino con la tecnica de elicitación a mano alzada.

Como parte del proceso se usó un problema en la salud pública, consistente en el análisis de las no conformidades en las historias clínicas de los pacientes en la Clínica de la Policía, estudiando los datos a la luz de un proceso Poisson con distribución a priori que resultó ser Gamma.

Se ejecutó el proceso completo encontrando unos límites de control con información procedente de los datos y de algunos expertos en salud de la Policía Nacional.

Este resultado permite la generación de alarmas tempranas ya sea en el incremento no esperado de la cantidad de no conformidades en las historias clínicas de la Sanidad Antioquia o sea porque las innovaciones son llamativamente inferiores a lo esperado de acuerdo a la distribución de probabilidad a posteriori encontrada.

Palabras clave: Elicitación, Carta de Control, Delphi, Ishikawa, Bayes.

Abstract

The control of a process requires, in addition to capturing evaluation classification and data, knowledge and experience of those involved in it. This paper aims to show a method for the introduction of this knowledge - based tools for easy implementation, which consists proposed by Ishikawa (1986) method as the first part of the process, followed by the use of Delphi methodology in two rounds , concluding with a third-round Delphi technique elicitation using freehand.

As part of the process, a problem of public health was used , consisting of the analysis of non-conformities in the clinical records of patients at the Clinic of Police , studying the data in light of a Poisson process with distribution ' on a priori which proved Gamma.

The entire process is executed by finding limits of control information from the data and

some health experts of the National Police.

This result allows the generation of early warning whether the unexpected increase in the number of non-conformities in the clinical records of Antioquia Health or because innovations are strikingly lower than expected according to the posterior probability distribution found.

Keywords: Elicitation, Control Chart, Delphi, Ishikawa, Bayes

Contenido

Agradecimientos	iv
Resumen	v
1. Introducción	2
2. Marco Teórico	4
2.1. Control Estadístico de Calidad	4
2.2. Control Estadístico de Procesos	4
2.3. Cartas de Control	4
2.3.1. Cartas de Control Shewhart	5
2.3.2. Cartas de Control CUSUM	9
2.3.3. Cartas de Control EWMA	9
2.3.4. Cartas de Control Bayesianas	11
2.4. Caso Poisson	14
2.4.1. Densidad a priori	14
2.4.2. Actualizaciones	15
2.4.3. Cálculo de los Límites de Control	16
2.5. Consideraciones sobre los Métodos Bayesiano y Tradicional	21
2.5.1. Métodos Tradicional y Bayesiano	21
2.5.2. Escogencia de la Distribución a Priori	22
2.5.3. Limitaciones de los Métodos Bayesianos	22
2.5.4. Limitaciones de los Métodos Tradicionales	23
3. Elicitación	24
3.1. Generalidades	24
3.2. Diagrama Causa Efecto	25
3.2.1. Operacionalización del Método	27
3.3. El Método Dephi	30
3.4. Método de elicitación a mano alzada	32

4. Carta de Control Elicitada	33
4.1. Elicitación de la Distribución a Priori de los Límites de Control	33
4.1.1. Planeamiento del modelo Beta-binomial	34
4.1.2. Predicción	35
5. Aplicación del Modelo	37
5.1. ¿Qué se mide en la historia clínica?	38
5.2. Descripción del Problema	39
5.3. Aplicación del Proceso Ishikawa	39
5.4. Proceso Delphi	41
5.4.1. Variables	43
5.4.2. Método de Recolección de Datos	43
5.4.3. Motivación de las preguntas	43
5.4.4. Operacionalización de las variables	43
5.4.5. Prueba del Cuestionario	45
5.4.6. Expertos	45
5.5. Resultados	46
5.5.1. Elicitación a mano alzada	47
6. Conclusiones	58
7. Trabajo Futuro	60
A. Anexo: Herramientas de Captura y Resultados	61
A.1. Diagrama Causa - Efecto	61
A.2. Cuestionario No 1 - Proceso Ishikawa	61
A.3. Cuestionario 2	63
B. Anexo: Algoritmos de Cartas de Control	68
B.1. Carta de control u Método Frecuentista	68
B.2. Carta de control u Método Frecuentista en periodo base sin datos fuera de control	68
B.3. Carta de control u Método Frecuentista Periodo de Verificación	69
B.4. Carta de control u Bayesiana periodo base sin corrección	70
B.5. Carta de control u Bayesiana periodo de verificación	71
B.6. Distribución a priori - método a mano alzada	72
B.7. Carta de control bayesiana en el periodo de verificación para las no conformidades en las historias clínicas	73
B.8. Carta de control con el método frecuentista en el periodo de verificación	75

B.9. Carta de control bayesiana en el periodo de verificación para las no conformidades en las historias clínicas sin datos con causas asignables	76
B.10. Carta de control con el método frecuentista en el periodo de verificación sin datos fuera de control con causas asignables	77
Bibliografía	79

1. Introducción

El control estadístico de procesos (SPC por sus siglas en inglés) se refiere a los métodos usados para monitorear y mejorar la calidad y productividad de ciclos de manufactura y servicios. El SPC involucra la implementación de cartas de control, las cuales son usadas para detectar un cambio en la media o la varianza de un proceso que podría afectar la calidad del mismo. Las cartas de control están entre las más importantes y globalmente usadas herramientas en estadística (Montgomery 2009)

Específicamente las cartas de control tienen como propósito establecer si el comportamiento de un proceso se mantiene en un nivel aceptable de calidad. Se espera que cualquier proceso experimente una variabilidad natural (Walpole 1999).

Una carta de control tiene la intención de ser un dispositivo para detectar el estado no aleatorio o fuera de control de un proceso. Si la detección de un punto fuera de control es lenta, se producen más artículos defectuosos o por fuera de especificaciones lo que tiene como consecuencia un desperdicio y un costo superior (Walpole 1999).

En un mundo ideal, podríamos diseñar un proceso con características de calidad que siempre cumplan con el objetivo sin variación alguna. En nuestro mundo real los productos o servicios, tendrán siempre una variación respecto del objetivo y requerirán un control del proceso.

En general todos los procesos mostrarán variaciones en sus características de calidad; en este sentido, tal variabilidad puede dividirse en dos (Deming 1986) así:

- Variación debido a causas comunes, variación aleatoria (De causa desconocida o insignificante, diferenciada de la definición matemática -sin causa-) o inherente al proceso (Juran & Gryna 1974).
- Variación debido a causas asignables también llamadas causas especiales por Deming (Tsiamyrztis 2000).

Las causas comunes son inherentes al proceso, mientras que las causas asignables, si estas existen, pueden ser originadas por la maquinaria, el material, el profesional, entre otras. Operacionalmente, un sistema funciona bajo causas comunes en cada realización del proceso. Estas dos fuentes de variación son la base para diferentes definiciones de proceso controlado o fuera de control.

En el capítulo 2 se presenta el marco conceptual general de cartas de control frecuentistas, se presenta un esquema de análisis bayesiano de datos de un proceso Poisson, el cual será necesario en la aplicación del modelo. También se hace una discusión sobre el análisis de datos

provenientes de una distribución Poisson que se hace necesaria para el correcto entendimiento de la aplicación presentada en el capítulo 5

El Capítulo 4 presenta la metodología propuesta de elicitación en la que intervienen el modelo de análisis causa efecto propuesto por Ishikawa (1986) y la forma en que puede, a través de éste, sembrar la semilla de verdad sobre el proceso y particularmente sobre la variable bajo estudio a los considerados expertos que aportarán su conocimiento en la segunda etapa de la metodología. Posteriormente se presenta la aplicación del método Delphi en dos rondas, junto con la aplicación del método de elicitación a mano alzada que permite definir la distribución a priori predictiva de los límites de control de interés.

También, en el capítulo 4 se presenta el desarrollo estadístico que hace posible la estimación de los límites de control de una carta de control bayesiana, en este caso, usando como distribución a priori una distribución *Beta* - Binomial.

Por último, en el capítulo 5, se desarrolla una aplicación del método propuesto en esta tesis basado en un problema del orden médico en la historia clínica de los pacientes atendidos en la Sanidad Policial.

2. Marco Teórico

2.1. Control Estadístico de Calidad

La calidad orientada a la gestión de sistemas y métodos se ha convertido en un paradigma de los negocios y el gobierno. Desde esta perspectiva, se desea satisfacer las expectativas de los consumidores con confiabilidad y buena calidad de los productos y servicios (Assareh 2010). En la ISO 9000 calidad está definida como el grado en el cual un conjunto de características inherentes al servicio o producto satisfacen los requerimientos de los clientes, y el control de la calidad es toda actividad operacional que es usada para cumplir los requerimientos de calidad. El Control Estadístico de la Calidad es entonces definido como el conjunto de métodos de estadística e ingeniería que son usados para medir, monitorizar, controlar y mejorar la calidad (Woodhall & Montgomery 1999).

2.2. Control Estadístico de Procesos

Planes de muestreo de aceptación o inspecciones de rectificación no aseguran la calidad de los datos que salen y entran del o al sistema, pero ellos proveen mejoras en la colección de datos. En general, todos los datos deben ser adecuadamente capturados, sistematizados y almacenados en relación con todas las actuaciones en los procesos y procedimientos, en los ámbitos de servicios y producción a fin de hacer posible la monitorización del proceso mismo en el futuro (Montgomery 2009).

El control estadístico de procesos es un conjunto de herramientas que permiten diagnosticar, controlar y priorizar problemas de variación, analizar las causas raíz y reflejar el efecto de acciones correctivas y mejoramientos en los procesos de registro, sistematización y almacenamiento de los datos (Montgomery 2009).

2.3. Cartas de Control

Una carta de control es en esencia una gráfica en que se despliega una medida de la característica de calidad en el tiempo. En cualquier proceso resulta conveniente conocer en todo momento hasta que punto nuestros productos o servicios cumplen con las especificaciones preestablecidas. Podemos decir que la calidad de un producto tiene dos grandes “enemigos”:

las desviaciones con respecto al objetivo especificado (falta de exactitud), y una excesiva variabilidad respecto a los valores deseables (falta de precisión) (Juran & Gryna 1974).

En los procesos de medición de fenómenos sociales no es común encontrarse con cartas de control para la administración de los procesos; sin embargo, pueden usarse éstas como herramientas para hacerlo al igual que se usan en el sector Industrial (Limaye, Mastrangelo & Zerr 2008).

Una característica diferencial de los procesos sociales frente a los industriales es que los parámetros de medición, como por ejemplo la media o la varianza, pueden sufrir cambios en el tiempo, lo cual de hecho es con frecuencia lo que se busca, un ejemplo de ello son las tasas de error en los registros clínicos de los usuarios de un sistema de salud, se espera que las mediciones de este estadístico bajen mes a mes en consonancia con los esfuerzos que desarrolle la organización al respecto con lo que las cartas de control tradicionales le exigen al proceso de medición introducirse en un ciclo de entrada y salida de las fases I y II del proceso de control, lo que convierte la carta del control en una herramienta no práctica (Chiu & Leung 1980).

En las cartas de control frecuentistas, además, no se incluye el conocimiento que los dueños del proceso tienen sobre el fenómeno que se está estudiando, pues dependen exclusivamente de la historia aportada por los datos.

Particularmente este hecho, hace justificable la búsqueda de herramientas como las cartas de control bayesianas, las cuales, además de tener en cuenta los cambios en los parámetros de interés medidos en el tiempo (pues les da tratamiento de variables aleatorias), también usa el conocimiento del proceso proveniente de expertos para proveer con frecuencia resultados aceptables por los interesados.

2.3.1. Cartas de Control Shewhart

La primera carta de control fue introducida por Shewhart en los años 20's para monitorear la media de los datos de un proceso normal univariado (Montgomery 2009). Estos esquemas de control han sido extensamente aplicados en el mejoramiento de la calidad de los procesos. El modelo estadístico considerado por Shewhart asume constantes los parámetros del proceso además de independientes e idénticamente distribuido (Shewhart 1926). Esto es expresado como

$$x_i = \mu + \epsilon_i \quad (2-1)$$

dónde x_i es un dato de la muestra, μ es la media del proceso y ϵ_i son los errores aleatorios normal e idénticamente distribuidos. con media cero y varianza σ^2 . Las cartas de control Shewhart son mas efectivas cuando el proceso está en control, y los datos son estacionarios e incorrelacionados. De acuerdo con lo dicho en la ecuación 2-1 los datos tienden a fluctuar

al rededor de una media constante. Estas cartas de control no son efectivas cuando las suposiciones de independencia y normalidad son violadas. Estas herramientas carecen de robustez cuando las condiciones mencionadas no son seguidas (Woodall & Mahmoud 2005). Una carta de control Shewhart para promedios se modela de la siguiente forma: las observaciones son hechas en el tiempo sobre un proceso y la carta de control es usada para detectar desviaciones de control estadístico. La línea central es μ_w y el modelo general para calcular los límites superior e inferior es

$$\mu_w \pm L\sigma_w \quad (2-2)$$

Donde L es la distancia de los límites de control a la línea central, μ_w es la media de la muestra estadística w y σ_w es la desviación estándar. : Deming (1986) indicó que las cartas de control tres sigma de Shewhart funciona para una gran variedad de situaciones. Él puntualizó que bajo la suposición de varianza constante y conocida σ^2 , si la distribución de la característica de calidad es razonablemente aproximada a una distribución normal, entonces el uso de los límites tres sigma ($L = 3$) es aplicable.

Como puede verse de este modelo, el estadístico de control calculado es una función sólo de la última muestra y la acumulada o peso de las observaciones anteriores es ignorada. Esta característica hace que las cartas de control Shewhart sean menos eficientes para detectar pequeños y moderados cambios. El énfasis actual en productos de alta calidad es la importancia de detectar pequeños cambios en la media del proceso (Safaie 2010). para esto se han desarrollado otras técnicas que permiten resolver esta situación bajo los mismos supuestos. En cualquier proceso resulta conveniente conocer en todo momento hasta que punto nuestros productos o servicios cumplen con las especificaciones preestablecidas. En las cartas de control frecuentistas, además, no se incluye el conocimiento que los dueños del proceso tienen sobre el fenómeno que se está estudiando, pues dependen exclusivamente de la historia aportada por los datos.

Particularmente esto, hace justificable la búsqueda de herramientas como las cartas de control bayesianas, las cuales, además de tener en cuenta los cambios en los parámetros de interés medidos en el tiempo (pues les da tratamiento de variables aleatorias), también usa el conocimiento del proceso proveniente de expertos para proveer con frecuencia resultados aceptables por los interesados.

La manera de proceder de las cartas de control tradicionales consiste en extraer muestras de un proceso que se encuentra activo y, a partir de las mismas, generar gráficos que nos permitan tanto estudiar la variabilidad de éste, como comprobar si los productos o servicios obtenidos cumplen o no con las especificaciones preestablecidas. En caso de apreciar en tales gráficos tendencias no aleatorias o bien, muestras que se sitúen más allá de los límites de control, consideraremos que el proceso está fuera de control.

Así, un punto que se encuentra fuera de los límites se interpreta como una evidencia de que el proceso está fuera de control. Además, incluso si todos los puntos se hallan comprendidos entre los límites, pero se comportan de manera sistemática o no aleatoria, también tendríamos un proceso fuera de control (Montgomery 2009).

El paquete estadístico R (Team 2013) maneja librerías que facilitan la construcción de cartas de control, la figura 2-1 ilustra un ejemplo desarrollado allí por Strucca (2004) de una carta de control en la cual se advierten su estructura y algunos estadísticos que suelen ser de interés en ellas.

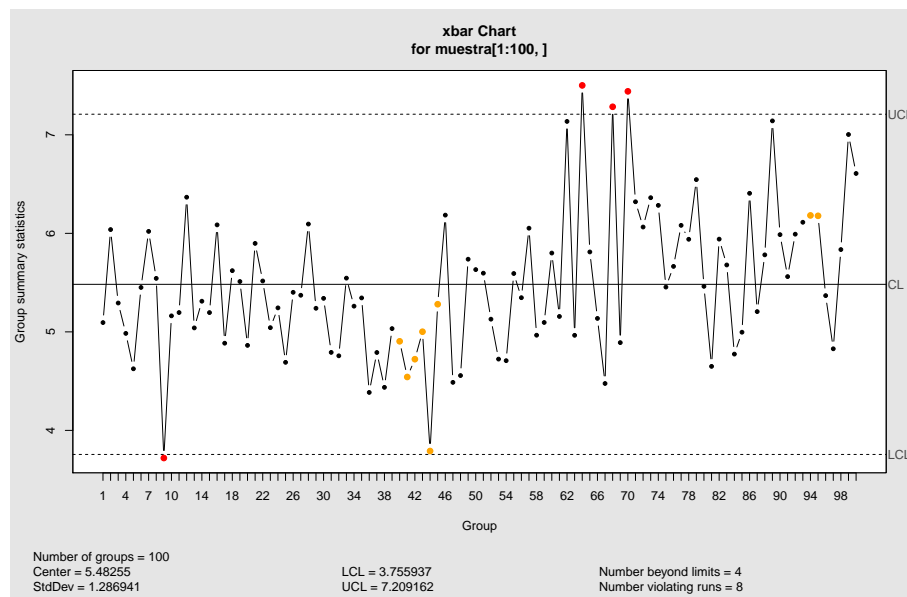


Figura 2-1.: Ejemplo de carta de control en paquete estadístico R (librería qcc)

Las cartas de control pueden clasificarse en dos tipos:

- Si la característica de calidad puede medirse y expresarse en una escala de medición continua se le llama carta de control por variables; ejemplo de ello son las cartas de controles de rango muestral o de desviación estándar muestral y se usan para controlar la variabilidad del proceso.
- Si la característica de calidad no puede medirse en una escala continua o cuantitativa, cuando la unidad del producto puede juzgarse como conforme o disconforme con base en si posee ciertos atributos o puede contarse el número de disconformidades que pueden encontrarse en cada unidad del producto, a estas se les llama carta de control por atributos (Montgomery 2009).

Existen múltiples tipos de cartas de control para los dos tipos de variables y en general deben usarse por pares, especialmente en el caso de las cartas de control por variables. Algunos

ejemplos de ellas son las cartas de control de Shewhart para la media \bar{X} , para el rango R , y para la desviación estándar S .

En cuanto a las cartas de control por atributos, podemos usar las cartas para la fracción disconforme p que se define como el cociente del número de unidades disconformes en una muestra de tamaño n , para el número de unidades disconformes en una muestra de tamaño n llamada np , para el número total de disconformidades en una unidad llamada carta c y para el número promedio de disconformidades por unidad que permiten el uso de tamaños de muestra variables que constituyen las cartas de control más usadas. Sin embargo, se puede contar con una variedad de cartas de control cuyo uso depende de las características de los datos y de la precisión misma que se quiera, ejemplo de ellas son las cartas de control EWMA o las CUSUM usadas para cambios pequeños en la media del proceso las cuales a su vez tienen variaciones (Montgomery 2009).

Como en el proceso de prueba de hipótesis, estamos considerando dos tipos de error, el tipo I ocurre cuando recibimos una señal de fuera de control cuando el proceso no lo está (Falsa alarma) y el error tipo II ocurre cuando concluimos que el proceso está bajo control cuando en realidad así no ocurre. Si los límites de control están contruidos de acuerdo a la distribución de muestreo del parámetro bajo control, la probabilidad de que una lectura esté dentro de los límites es $(1 - \alpha)$, entonces α será la probabilidad de una falsa señal (Juran & Gryna 1974). El número de muestras antes de una señal de fuera de control es llamado longitud de corrida y si el proceso está bajo control, este sigue una distribución geométrica(α). El número esperado de muestras antes de que una señal ocurra es llamado longitud de corrida media (ARL: Average Run Length por sus siglas en inglés) (Tsiamyrtzis 2000) el cual es calculado como:

$$ARL = \frac{1}{\alpha} \quad (2-3)$$

Las cartas de control frecuentistas, presentan como debilidad el considerar que el proceso tiene una distribución de probabilidad propia y que por ende los parámetros que rigen a esta no son variables aleatorias, sino escalares. Claramente esto puede diferir de la realidad, pues las acciones externas al proceso hacen que permanentemente el proceso pueda variar por ejemplo su media y su varianza.

Otro hecho de particular interés, es que las cartas de control frecuentistas requieren de una etapa previa al control o etapa I, en la que el proceso es medido y se establecen sus parámetros con el fin de construir con estos los límites de control para la etapa II (control del proceso). Esto implica que la carta de control solo tiene validez, una vez se haya establecido un conjunto de parámetros muestrales a los que se les dá la calidad de verdaderos parámetros del proceso hasta que nuevos hallazgos digan lo contrario, lo que implica no solo la toma de datos, sino la espera en el proceso para iniciar la etapa de real interés ó fase II ó fase de verificación del proceso; esto representa una dificultad por cuanto cada vez los procesos por su costo o complejidad de medición solo pueden entregar conjuntos de datos para la fase I muy pequeños o incluso ninguno.

2.3.2. Cartas de Control CUSUM

Las cartas de control Shewhart usan solo la información del proceso contenida en la última observación e ignora toda la información contenida en la secuencia de puntos previa. Este rasgo hace de las cartas de control Shewhart relativamente insensibles a pequeños saltos del proceso, del orden de $1,5\sigma$ o menos (Montgomery 2009).

En las Sumas Acumuladas propuestas por Page (1954), la información es acumulada en el tiempo. Como la combinación de información obtenida de varias muestras, las CUSUM son conocidas por detectar bien pequeños cambios en los parámetros del proceso (Safaie 2010). Esta carta de control puede ser aplicada a observaciones individuales. Los límites CUSUM son calculados como:

$$C_i^+ = \max[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \quad (2-4)$$

$$C_i^- = \max[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-] \quad (2-5)$$

donde los valores iniciales $C_0^+ = C_0^- = 0$, μ_0 es el valor objetivo, K es el valor de referencia (frecuentemente seleccionado en medio entre el objetivo μ_0 y el valor de fuera de control de la media μ_1) y C_i^+ ó C_i^- son las sumas superior e inferior respectivamente. El proceso se sale de control si C_0^+ ó C_0^- exceden el intervalo de decisión H . Los valores recomendados de H y K son 5σ y $0,5$ respectivamente (Montgomery 2009). Estas cartas podrían ser una alternativa efectiva a las cartas de control Shewhart en la fase II de monitoreo del proceso para detectar pequeños saltos (Safaie 2010).

2.3.3. Cartas de Control EWMA

La media móvil exponencialmente ponderada es un estadístico para monitorear los promedios de los datos de un proceso de una manera que da menos peso a los datos que están más alejados en el tiempo (Lucas & Saccucci 1990).

Para la técnica de control de las cartas Shewhart, la decisión con respecto al estado de control del proceso en cualquier momento t , depende únicamente de la medición más reciente del proceso y, por supuesto, el grado de “veracidad” de las estimaciones de los límites de control a partir de datos históricos. Para la técnica EWMA, la decisión depende del estadístico EWMA, que es un promedio ponderado exponencialmente de todos los datos anteriores, incluyendo la medición más reciente.

Para la elección del factor de ponderación, λ , el procedimiento de control se puede hacer sensible a un salto pequeño o gradual en el proceso, mientras que el procedimiento de control de Shewhart sólo puede reaccionar cuando el último punto de datos está fuera de un límite de control.

Un esquema de control EWMA es fácil de aplicar y de interpretar. Se basa en la estadística

$$EWMA_t = \lambda Y_t + (1 - \lambda)EWMA_{t-1} \quad (2-6)$$

junto con límites de control superior (UCL) y los límites de control inferior (LCL), donde:

- Y_t es la observación en el tiempo t .
- n es el número de observaciones a ser monitoreadas incluyendo $EWMA_0$.
- $0 < \lambda \leq 1$ es una constante que determina la profundidad de la memoria del proceso.

El parámetro λ determina el peso en el cual datos “viejos” entran en el cálculo del estadístico $EWMA$. Un valor de $\lambda = 1$ implica que solo la más reciente medida en el proceso influencia al $EWMA$ (se degrada a una carta Shewhart). Así, un valor de λ muy cercano a 1 da más peso a datos recientes y menos peso a datos antiguos; un pequeño valor de λ da más peso a datos menos recientes (Montgomery 2009). El valor de λ es usualmente escogido entre 0,2 y 0,3. Lucas & Saccucci (1990) proveen tablas que ayudan al usuario a elegir λ .

La varianza estimada del estadístico EWMA es aproximadamente

$$s_{EWMA}^2 = \frac{\lambda}{2 - \lambda} s^2 \quad (2-7)$$

Cuando t no es pequeño y s^2 es la desviación estándar calculada de los datos históricos la línea central de la carta de control es el valor objetivo o $EWMA_0$, los límites de control son:

$$UCL = EWMA_0 + k s_{EWMA} \quad (2-8)$$

$$LCL = EWMA_0 - k s_{EWMA} \quad (2-9)$$

dónde $EWMA_0$ es la media histórica de los datos (objetivo), el factor k es, en general, cercano a 3 o puede elegirse utilizando las tablas provistas por Lucas & Saccucci (1990). Los datos se supone que son independientes y estas tablas también asumen una población normal (NIST/SEMATECH 2012).

Las observaciones registradas secuencialmente, Y_t , pueden ser valores observados individualmente en el proceso, aunque a menudo son promedios de las muestras obtenidas de un designado plan de muestreo. El proceso se considera fuera de control y medidas deben adoptarse cuando $EWMA_i$ está fuera del rango de los límites de control (Lucas & Saccucci 1990). Colosimo & Del Castillo (2007) han señalado que todas las propiedades de las cartas de control CUSUM y Shewhart son bien conocidas en circunstancias ideales donde todas las observaciones del proceso siguen una distribución normal con parámetros conocidos e independientes. Si se aleja de la suposición de independencia se justifica el uso de una carta EWMA, Sin embargo, hay algunos escenarios en los cuales los parámetros del proceso son difícilmente conocidos para aportar precisión para que esos cálculos teóricos sean creíbles.

Cuando los parámetros son desconocidos, Los métodos bayesianos en control estadístico de procesos son aplicados.

Se propone una alternativa metodológica que permita proceder al control del proceso sin necesariamente pasar por la fase I de las cartas de control. Metodológicamente podemos importar los pasos industriales de control, lo que permite a un proceso social también ser medido, por tanto mejorable. Este proceso puede ser representado por las cartas de control bayesianas.

2.3.4. Cartas de Control Bayesianas

En la práctica del SPC se requiere de una o más cartas de control para determinar la estabilidad del parámetro de un proceso y para detectar cambios en él. Muchos de los métodos usados siguen el trabajo clásico de Shewhart, esto es, está basado en datos capturados de un proceso del cual se ha establecido que está en estado de control, por esto se entiende que la media de la distribución de los datos es estable en el tiempo para estimar los parámetros del modelo (Montgomery 2009).

Los límites de control tentativos están determinados a partir solo de la historia del proceso y si el conjunto de datos iniciales se considera bajo control, los límites de control son usados para monitorear futuros datos de la producción, de otro modo, los límites pueden ser revisados y el procedimiento repetido.

La estructura de una carta de control está basada en el concepto frecuentista de corridas largas; esto es, el número de muestras antes de una detección de fuera de control, de la cual se requiere una baja tasa de falsa alarma si el proceso está bajo control, y corta si el proceso realmente está fuera de control lo que habla de alta potencia de la carta (Gutiérrez 2006).

Un problema que está siendo estudiado con considerable interés en SPC en los últimos años, es el de escasos de datos en la Fase I del proceso de control (Colosimo & Del Castillo 2007); (Tsiamyrtzis 2000); (Gutiérrez 2006); (Zhijian 2008). Este problema resulta obvio por las dificultades encontradas si el conjunto de datos usados para estimar los parámetros y los límites son pequeños, lo que usualmente se encuentra cuando se manufactura en pequeños lotes, cuando el costo de obtención de datos es muy alto, cuando el tiempo entre datos es extenso o el producto, fruto del proceso de vigilancia no admite periodo base de control.

Tsiamyrtzis & Hawkins (2005) proponen que en lugar de asumir que la fase I tiene suficientes registros a pesar del pequeño conjunto de datos, uno podría aproximarse al problema desde la perspectiva bayesiana. Para ello se puede comenzar por una distribución a priori para los parámetros del proceso, obtener distribuciones a posteriori de las cuales pueden hacerse inferencias acerca del proceso.

Khatiwada & Sthapit (2010) manifiestan que esto tiene sentido porque es precisamente cuando hay pocos datos disponibles o cuando su obtención es costosa, que una creencia previa podría ser incorporada en la práctica. Por ejemplo, consideremos el control de la

media de un proceso distribuido normalmente, cuando ambos parámetros son desconocidos. Utilizando a priori conjugadas de la siguiente forma:

$$\mu|\sigma^2 \sim N(\mu_0, \sigma^2/\kappa_0) \quad (2-10)$$

y

$$\sigma^2 \sim Inv\chi^2(\nu_0, \sigma_0^2) = \frac{(\nu_0/2)^{\nu_0/2}}{\Gamma(\nu_0/2)} \sigma_0^2^{-\nu_0/2-1} e^{-\nu_0/(2\sigma_0^2)} \quad (2-11)$$

donde κ_0 puede considerarse como el número de datos que según nuestras creencias (subjetivas) son consideradas acordes con la experiencia sobre el fenómeno bajo estudio. Note que μ depende de la a priori de σ^2 , de tal suerte que no hay una suposición de independencia a priori. La densidad a priori conjunta según Tsiamyrtzis (2000) es:

$$\begin{aligned} p(\mu, \sigma^2) &\propto \sigma^{-1} e^{-\frac{\kappa_0}{2\sigma^2}(\mu_0-\mu)^2} (\sigma^2)^{\left(\frac{\nu_0}{2}+1\right)} e^{-\frac{\nu_0\sigma_0^2}{2\sigma^2}} \\ &= \sigma^{-1} (\sigma^2)^{-\left(\frac{\nu_0}{2}+1\right)} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\nu_0\sigma_0^2+\kappa_0(\mu_0-\mu)^2)} \end{aligned} \quad (2-12)$$

la expresión anterior se acostumbra llamar la distribución Normal - Inversa χ^2 (una distribución de cuatro parámetros), esto es:

$$(\mu, \sigma^2) \sim N - Inv\chi^2(\mu_0, \sigma_0^2/\kappa_0; \nu_0, \sigma_0^2). \quad (2-13)$$

Colosimo & Del Castillo (2007) demuestran que la distribución conjunta posterior después de haber observado $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ es también una $N - Inv\chi^2$. De allí se obtiene que las distribuciones posteriores marginales al tiempo n son

$$\sigma^2|\bar{Y}, s^2 \sim Inv\chi^2(\nu_n, \sigma_n^2) \quad (2-14)$$

y

$$\mu|\bar{Y}, s^2 \sim t_{\nu_n}(\mu_n, \sigma_n^2) \quad (2-15)$$

Si bien los procesos bajo estudio no necesariamente tienen como distribución de probabilidad una normal, el modelo presentado abajo desarrollado por Tsiamyrtzis (2000), da luz sobre el proceso de actualización bayesiano sobre la distribución de probabilidad punto a punto en el control del proceso.

En procesos en que haya escasez (o incluso cero) datos en la fase I del proceso de control estamos interesados en hacer inferencias, en cada realización de nuestro proceso, acerca el

parámetro de interés θ_n . Antes de comenzar a correr el proceso (en la que llamaremos etapa cero) tenemos una información a priori acerca del parámetro de interés.

Tsiamyrtzis (2000), presenta una construcción bajo el supuesto de innovaciones normales que si

$$\theta_n \sim N(\zeta, \sigma_0^2) \quad (2-16)$$

dónde ζ, σ_0^2 son la media y la varianza conocidas, respectivamente.

Cuando nos movemos de la etapa $n - 1$ a la etapa n el modelo para el parámetro de interés θ es:

$$\theta_n | \theta_{n-1} \sim \begin{cases} N(\theta_{n-1}, \sigma^2) & \text{con probabilidad } p \\ N(\theta_{n-1} + \delta, \sigma^2) & \text{con probabilidad } 1 - p \end{cases} \quad (2-17)$$

donde σ^2, δ y p se asumen conocidas. Note que en el caso especial en el que $p = 1$ ó $\delta = 0$, el modelo es una caminata aleatoria. σ^2 representa la variabilidad de los modelos y δ es el tamaño del salto positivo ocurrido con probabilidad $1 - p$. El valor de δ se define conceptualmente por la situación del mundo real, donde la necesidad general para captar este número es que tienen que ser “lo suficientemente grande como para tener importancia, pero no lo suficientemente pequeño como para verse”.

Para el modelo nos movemos entre etapas sucesivas, el error $N(0, \sigma^2)$ se añade al parámetro de interés el cual salta con probabilidad $1 - p$.

En cada etapa n de nuestro proceso no tenemos la posibilidad de observar θ_n directamente, pero sí podemos tener la realización X_n para la cual tenemos:

$$X_n | \theta_n \sim N(\theta_n, \tau^2) \quad (2-18)$$

donde τ^2 representa la variabilidad debida a la medida del error y se asume conocida y $X_n = x_1, x_2, \dots, x_n$

En cada etapa i de nuestro proceso, una vez $X_i = x_i$ es una realización observada, podemos entonces obtener la distribución a posteriori de $\theta_i | X_i$ y construir alguna inferencia sobre el parámetro θ_i . Para cada etapa del proceso tenemos dos posibles escenarios para θ (salto o no salto).

un completo análisis bayesiano aporta la distribución posterior de $\theta_n | X_n$ como una mezcla de 2^n distribuciones. Tsiamyrtzis (2000)) hace un desarrollo algebraico etapa a etapa que ilustra este procedimiento.

Para ilustrar el proceso de inferencia bayesiana, a continuación se presenta un análisis basado en el tratamiento de datos Poisson.

2.4. Caso Poisson

La distribución de Poisson aparece en el estudio de fenómenos cuya variable de interés es un conteo, como es el caso de muertes violentas, llamadas en una línea telefónica, peticiones en un proceso de atención al usuario entre otras. En esta sección nos ocuparemos del procedimiento bayesiano de inferencia para este modelo muestral.

Bernardo & Smith (1994) hacen un desarrollo teórico correspondiente a este proceso de la siguiente forma, una variable aleatoria X que sigue una distribución de Poisson con media λ con probabilidad de que tome valores $x = 0, 1, 2, \dots$, puede escribirse como:

$$P(X = x) = p(x|\lambda) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}, \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (2-19)$$

esta distribución es adecuada para medir procesos de conteo y dependerá del valor de su parámetro λ para ofrecer adecuado ajuste a los datos.

Supongamos que estamos estudiando el número de muertes violentas por día en una ciudad x_1, x_2, \dots, x_n en n días. Tenemos entonces un parámetro $\lambda > 0$ que define la distribución del número de “muertes violentas por día”. Desde el punto de vista bayesiano, es de nuestro interés conocer el comportamiento del parámetro λ que ahora es una variable aleatoria, que se interpreta como el número medio de muertes violentas.

Dada una muestra $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ la verosimilitud puede expresarse como:

$$L(\lambda|x) \equiv L(\lambda|\bar{x}) \propto \lambda^{n\bar{x}} e^{-n\lambda}, \quad (2-20)$$

donde \bar{x} es la media muestral de las observaciones, i.e., $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

2.4.1. Densidad a priori

En el análisis bayesiano, necesitamos modelar el conocimiento a priori que sobre el parámetro λ poseen el(los) experto(s).

Para nuestro proceso Poisson, existe una distribución que es especialmente adecuada para la verosimilitud Poisson (Vermaat 2006), la densidad de tipo Gamma, $\gamma(\alpha, \beta)$, que puede expresarse de la siguiente forma:

$$\pi(\lambda) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \lambda^{\alpha-1} e^{-\lambda\beta} \propto \lambda^{\alpha-1} e^{-\lambda\beta} \quad (2-21)$$

Nótese que la distribución está determinada por los parámetros α y β , los cuales están relacionados con las principales medidas descriptivas de la distribución: $E(\lambda) = \frac{\alpha}{\beta}$ y $V(\lambda) = \frac{\alpha}{\beta^2}$

2.4.2. Actualizaciones

Para la actualización de los juicios sobre λ la distribución a posteriori es proporcional al producto de la distribución a priori y la verosimilitud de los datos (Vermaat 2006). Si $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ es una muestra aleatoria de una población $P(x|\lambda)$ y consideremos $\pi(\lambda) \sim \gamma(\alpha, \beta)$ una densidad a priori para λ con $\alpha, \beta > 0$ conocidos. Entonces, la distribución a posteriori de λ es también una *Gamma* con parámetros, $\alpha + n\bar{x}$ y $\beta + n$, siendo \bar{x} el estadístico suficiente dado por la media muestral, $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i$.

Además la distribución predictiva de una nueva observación y es una distribución Binomial Negativa.

Prueba:

$$\begin{aligned} \pi(\lambda|\bar{x}) &\propto L(\bar{x}|\lambda).\pi(\lambda) \\ &\propto \lambda^{n\bar{x}} e^{-n\lambda} \times \lambda^{\alpha-1} e^{-\beta\lambda} \\ &\propto \lambda^{n\bar{x}+\alpha-1} e^{-(n+\beta)\lambda}, \end{aligned} \quad (2-22)$$

que corresponde a una densidad Gamma con parámetros $n\bar{x} + \alpha$ y $\beta + n$.

Para una nueva observación y podemos usar la expresión (a priori) $p(y) = \frac{f(y|\lambda)\pi(\lambda)}{\pi(\lambda|\bar{x})}$. Sustituyendo cada componente por sus expresiones correspondientes para el caso Poisson-Gamma, tenemos

$$p(y) = \left\{ \frac{1}{y!} e^{-\lambda} \lambda^y \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} e^{-\beta\lambda} \lambda^{\alpha-1} \right\} \left\{ \frac{(\beta+1)^{\alpha+y}}{\Gamma(\alpha+y)} e^{-(\beta+1)\lambda} \lambda^{\alpha+1} \right\}^{-1} \quad (2-23)$$

de donde se deduce que:

$$p(y) = \frac{\Gamma(\alpha+y)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(y+1)} \left(\frac{\beta}{\beta+1} \right)^\alpha \left(\frac{1}{\beta+1} \right)^y, \quad (2-24)$$

que es la expresión de una distribución Binomial Negativa. De aquí, la distribución a posteriori predictiva es análoga sin más que reemplazar α por $\alpha + n\bar{x}$ y β por $\beta + n$.

Observamos entonces que la media a posteriori del parámetro λ , dado que tiene un comportamiento según la distribución gamma, puede expresarse como:

$$E(\lambda|\bar{x}) = \frac{n\bar{x} + \alpha}{n + \beta} = \omega \frac{\alpha}{\beta} + (1 - \omega)\bar{x}. \quad (2-25)$$

con $\omega = \frac{\beta}{n+\beta}$, y la varianza en este caso es:

$$V(\lambda|\bar{x}) = \frac{n\bar{x} + \alpha}{(n + \beta)^2}. \quad (2-26)$$

2.4.3. Cálculo de los Límites de Control

Las cartas de control permiten el monitoreo de un proceso analizando la distribución de probabilidad $f(y|\theta)$ de y , con θ como parámetro, a través del tiempo.

El método de control frecuentista supone que el parámetro θ es constante, y se calcula con base en un periodo de prueba previo al periodo k en que se inicia el proceso de control. A partir de esta estimación se calculan los límites de control y la carta se usa para monitorear la estabilidad del proceso a partir de la observación y_k , por lo tanto en el periodo de prueba no se tienen límites de control y por ende no es posible aplicar la carta de control. Esto se constituye en una desventaja para el control del proceso, pero se torna crítico en los procesos en los que los datos se obtienen lentamente o los procesos de corridas cortas (Es decir, el periodo de prueba es muy pequeño o inexistente) (Gutiérrez 2006).

Otro aspecto que debe resaltarse de las cartas de control frecuentistas como ya se mencionó, es que no se incorpora la incertidumbre sobre la estimación de θ ; esto es, no hay diferencia si el parámetro fue calculado a partir de pocas o muchas observaciones (Kulhavy 1992).

Al considerar la variación natural del proceso, la carta de control se constituye probablemente en un instrumento para el adecuado control y monitoreo del proceso; otro tópico en este asunto es que los límites de control se construyen con el enfoque $3 - \sigma$, que a su vez considera que bajo normalidad la probabilidad de que los datos estén dentro de los límites de control es 0,9973, lo cual no necesariamente ocurre para las distribuciones sesgadas que son comunes en el caso de control o muestreo por atributos y como resultado los límites de control no reúnen tales requerimientos (García, Herrerías & García 2007).

Así pues, se puede considerar una metodología alternativa como la bayesiana y ver cómo se pueden resolver las dificultades de las cartas de control tradicionales ya presentadas.

Particularmente, nuestro problema consiste en generar una alternativa a la construcción de límites de control en la que no solo se supere el problema de la distribución de probabilidad del proceso, sino que también otorgue la posibilidad de controlar un proceso con baja tasa de falsas alarmas.

La principal necesidad en este trabajo, es la estimación de una distribución de probabilidad a priori que permita junto con el proceso establecer unos límites de control dependientes de la distribución del proceso, pero también de la participación de quienes conocen e intervienen en la toma de decisiones a partir del control establecido.

Método Bayesiano

Para ilustrar esta carta de control usaremos el ejemplo 6 – 5 extraído de Montgomery (2009). En una planta de acabados textiles se inspecciona una tela teñida para la ocurrencia de defectos en cada 50 metros cuadrados. en la tabla **2-1** se muestran los datos de diez rollos de tela. Se usarán estos datos para establecer una carta de control para las disconformidades por unidad.

Número de rollo	Número de metros cuadrados	Número total de disconformidades	Número de unidades de inspección en el rollo, n	Numero de disconformidades por unidad de inspección
1	500	14	10	1.4
2	400	12	8	1.5
3	650	20	13	1.54
4	500	11	10	1.1
5	475	7	9.5	0.74
6	500	10	10	1
7	600	21	12	1.75
8	525	16	10.5	1.52
9	600	19	12	1.58
10	625	23	12.5	1.84

Tabla 2-1.: Ocurrencia de las disconformidades en la tela teñida

La línea central de la carta deberá ser el número promedio de disconformidades por unidad de inspección; esto es, el número promedio de disconformidades por 50 metros cuadrados calculado como:

$$\bar{u} = \frac{153}{107,5} = 1,42$$

Los límites de control se calculan a partir de 2-27

$$LCI_{u_i} = \max\{\bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/m_i}, 0\} \quad (2-27)$$

$$LCS_{u_i} = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/m_i}, \quad (2-28)$$

La figura **2-2** representa la carta de control u en el periodo base producida a partir de la metodología tradicional o frecuentista antes desarrollada con $\bar{u} = 1,730233$.

Para ilustrar adecuadamente este método bayesiano se conservarán las cotas de control de $0,027/2$ a cada lado, esto con la finalidad de comparar ambos métodos.

La ventaja de controlar un proceso con este método es la posibilidad de controlar el proceso desde la primera observación con lo que se hace innecesario en periodo base del proceso, que fue indispensable en la metodología clásica.

Para el control del proceso usaremos la variable $U_t = Y_t/m_t$ bajo el esquema Poisson - Gamma presentado en 2.4 para obtener un gráfico de control en la misma escala que el gráfico clásico.

La herramienta más importante en el proceso bayesiano a implementar es la predicción (García & Layron 2001). La predicción como respuesta a la pregunta ¿Ha ocurrido algo en

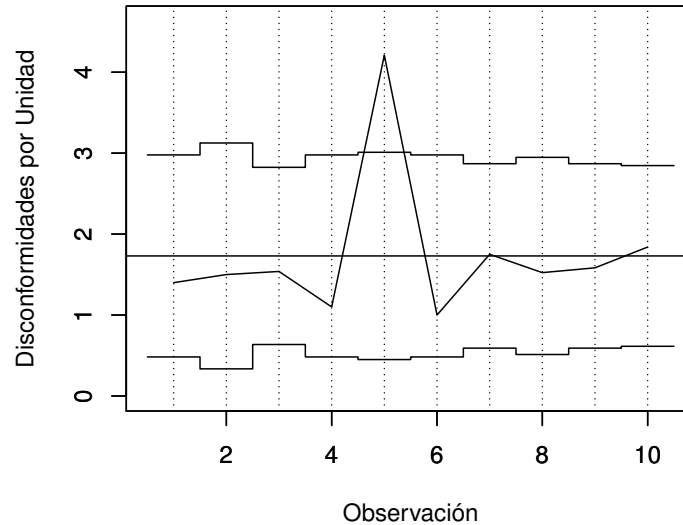


Figura 2-2.: Carta de Control u Período Base

el proceso que merezca ser investigado?. Esto es, si la siguiente observación de la variable de interés Y es y_{t+1} y actualmente, en el tiempo t hemos acumulado *información y experiencia* D_t , sobre el comportamiento del proceso bajo las condiciones regulares de comportamiento, ¿es y_t , congruente con la distribución predictiva $p(y_{t+1}|D_t)$? (García & Layron 2001).

El proceso iterativo se presenta de la siguiente forma:

- En el instante $t = 0$ asignamos $p(\alpha, \beta|D_0)$.
- En el instante t , acumulada la información sobre el proceso D_t , manejamos la distribución predictiva $p(u_{t+1}|D_t)$.
- Calculamos los límites de control $LCI_{u_{t+1}}$ y $LCS_{u_{t+1}}$ como los percentiles $0,0027/2$ y $1 - 0,0027/2$ de la distribución predictiva $p(u_{t+1}|D_t)$.
- Representamos los límites de control $LCI_{u_{t+1}}$ y $LCS_{u_{t+1}}$ frente a la observación u_{t+1} producida en el instante $t + 1$.
- Si u_{t+1} cae fuera de los límites de control, podemos sospechar un cambio en el proceso que conviene investigar. Si, por el contrario, u_{t+1} se encuentra dentro de los límites, acumulamos información $D_{t+1} = D_t$, y_{t+1} y continuamos.

Este método se usa a continuación para ilustrar el ejemplo presentado en la sección 2.4.3.

Primero observemos la carta de control y específicamente sus límites con los datos del periodo base sin corrección. Si bien la carta de control precisamente nos permite no tener un periodo base, resulta un buen parámetro de control de la calidad de la carta el construirla con la observación que en el método clásico se sale de los límites.

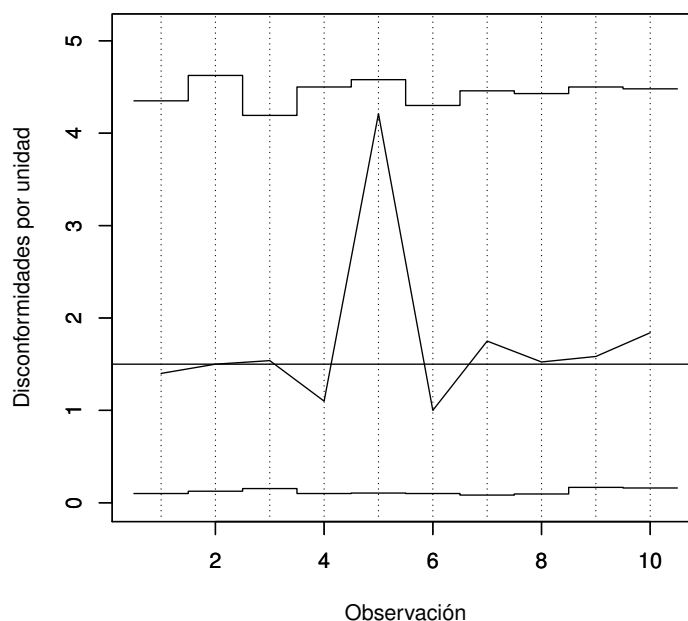


Figura 2-3.: Carta de control u bayesiana en “periodo base”

Nótese de la figura 2-3 que los límites de control para la carta de control bayesiana son más amplios que los límites calculados por el método clásico. En este caso, la carta de control, si bien presenta un dato fuera de tendencia, este no se sale de los límites; sin embargo la carta será recalculada sin el dato bajo el supuesto que se hallaron causas asignables al mismo exógenas al proceso permitiendo su eliminación.

Debe recalcar el hecho que esta acción no es necesaria en el caso de las cartas de control bayesianas, pues de hecho, en estas no hay periodo base.

La figura 2-5 muestra nuevamente que los límites de control para la carta de control bayesiana en el periodo de verificación son mas amplios que los obtenidos en la carta de control clásica (ver 2-4), lo cual hace a la carta mas robusta a falsas alarmas, mejorando así el estadístico ARL , pues se agregó conocimiento del proceso (en este caso simulado) que otorga mayor credibilidad de la herramienta.

La carta de control definitiva que debería usarse en el periodo de verificación es la presentada en la figura 2-5

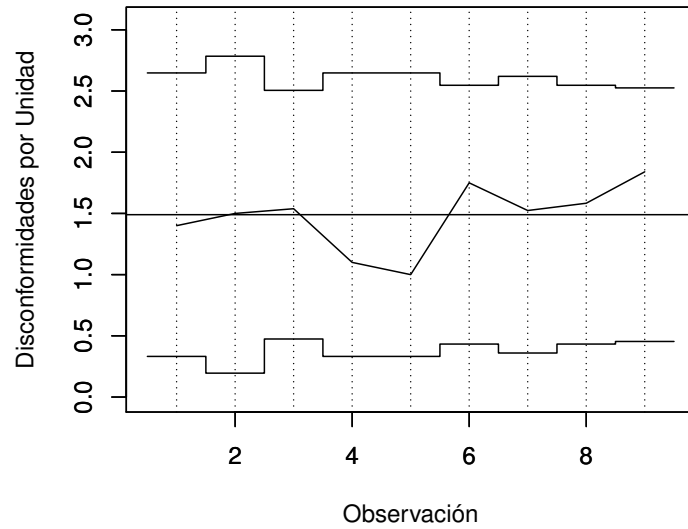


Figura 2-4.: Carta de Control u en "periodo de verificación bajo la metodología clásica libre de causas asignables

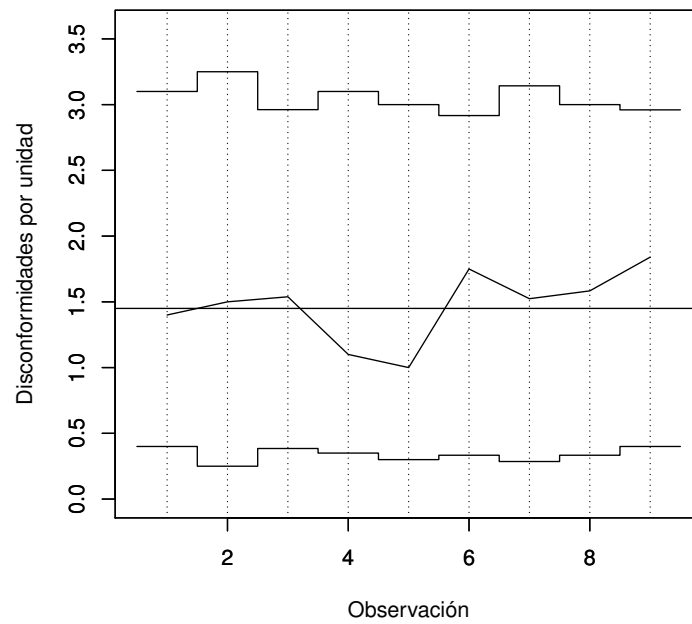


Figura 2-5.: Carta de control u bayesiana en "periodo de verificación"

2.5. Consideraciones sobre los Métodos Bayesiano y Tradicional

Esta sección se ocupa de hacer distinciones entre las estructuras de los métodos bayesiano y tradicional. Para alcanzar esta meta, primero se discuten los atributos y aplicaciones de ambos métodos. Por otra parte, se presentan los diferentes tipos de distribuciones previas conjugadas que tienen un rol particular en el cálculo de los parámetros posteriores. Hecho esto, se compara y contrasta estas dos estructuras. Al final se presentan las limitaciones de cada método.

2.5.1. Métodos Tradicional y Bayesiano

Las preguntas tradicionales acerca de los dos métodos involucran las aplicaciones, fortalezas y debilidades de cada uno. Las fortalezas de los métodos tradicionales son inherentes a la simplicidad de computación, que se deriva de haber sido establecida antes de contar con la tecnología moderna.

Colosimo & Del Castillo (2007) discuten tres condiciones en las cuales la aproximación tradicional trabaja bien. Primera, las variables bajo estudio siguen una distribución simple que esta determinada por un reducido número de parámetros. Segunda, conocimiento a priori acerca de las variables del estudio no está disponible, tercera, un gran número de observaciones están disponibles.

En algunos contextos donde los métodos estadísticos tradicionales no son muy efectivos, la estadística bayesiana es más aplicable. Por ejemplo, cuando hay pequeños conjuntos de datos disponibles, los estimadores tradicionales pueden ser inapropiados o la versosimilitud podría no ser bien aproximada por una distribución normal (Safaie 2010).

De otro lado, cuando el tamaño de muestra es grande, digamos $n > 30$, los resultados de las inferencias tradicionales deben ser siempre consideradas. Otro ejemplo es la incorporación de conocimiento a priori y el uso de un conjunto de datos de múltiples estudios. Usualmente la industria tiene suficiente información a priori disponible, la cual ayuda a adecuar la estimación de los parámetros. aplicar la aproximación bayesiana es una forma para incorporar información en la estimación (Marin & Robert 2007).

Para llevar a cabo la aproximación bayesiana, son necesarios tres pasos. Primero, antes de muestrear, la distribución a priori $f(\theta)$ debería ser especificada tal que esta expresa las creencias previas y el estado actual del conocimiento en relación con el parámetro. Si la distribución a priori es cuidadosamente seleccionada, entonces los resultados de los métodos bayesianos son efectivos. Segundo, un método de medición experimental debería ser aplicado para describir la distribución de los datos dado el parámetro de interés, $f(x|\theta)$, es decir, $L(\mu) \propto p(x|\theta)$. Esto no solo asegura que los datos son coleccionados aleatoriamente sino que los datos solo pueden afectar la posteriori a través de esta función. El tercer paso

está basado en la combinación de información de la priori y la verosimilitud para actualizar el conocimiento del conocimiento acerca de θ para el calculo de la distribución a posteriori $f(\theta|x)$ después de muestrear. esto es logrado a través del teorema de Bayes, el cual puede ser expresado por

$$\text{Distribución a Posteriori} = \frac{\text{Verosimilitud} \times \text{Distribución a Priori}}{\int \text{Verosimilitud} \times \text{Distribución a Priori}} \quad (2-29)$$

Así, el teorema de Bayes describe el proceso de entendimiento de la experiencia y muestra como el conocimiento acerca del parámetro representado por la información a priori es continuamente modificado con nuevos datos disponibles.

2.5.2. Escogencia de la Distribución a Priori

Colosimo & Del Castillo (2007) introdujeron tres casos comunes de distribución a priori. En la clase de distribuciones conjugadas, las distribuciones a priori y posteriori tienen la misma forma de la distribución con diferentes parámetros. Una a priori conjugada asegura que la posterior tiene una forma cercana a la verosimilitud de los datos y en este sentido simplifica los cálculos. La clase no conjugada de a prioris resulta en una a posteriori con una forma diferente que la distribución a priori. Las a priori no informativas, también llamadas a priori objetivas, incluyen una falta de información acerca del parámetro. Más adelante se tratará con mayor detenimiento el tema de la determinación de la distribución a priori en el capítulo de elicitación dado el objetivo de esta tesis.

2.5.3. Limitaciones de los Métodos Bayesianos

Una de las razones generales de crítica a estos métodos es que un concepto subjetivo de probabilidad a priori existe en la aproximación bayesiana más que la objetividad. se argumenta que a pesar de una distribución a priori subjetivo tiene el valor de repeticiones adicionales de los datos, no es siempre fácil trasladar la información a priori a una distribución significativa y el parámetro de la distribución a priori debe ser evaluado (Marcellus, 2008).

Marcellus (2007), resumió un número de limitaciones de la estructura bayesiana. Una dificultad práctica es que es necesaria más información acerca del proceso que en los métodos tradicionales, aunque adquirir este conocimiento puede traer beneficios reales. Otra dificultad, es que las probabilidades usadas en el teorema de Bayes algunas veces deben ser revaluadas. Otra dificultad es que la información visual valiosa podría ser perdida si los métodos tradicionales no fueran usados en conjunto con el teorema de Bayes. Típicamente, la aproximación bayesiana no es recomendada cuando no hay buen entendimiento del procedimiento.

2.5.4. Limitaciones de los Métodos Tradicionales

Safaie (2010), presenta una tabla en la que muestra una comparación tabulada entre los métodos tradicional y bayesiano replicado en la figura 2-6.

Método Tradicional	Método Bayesiano
Usa solo la última información proveniente de la secuencia completa de datos	Usa toda la información disponible para hacer una inferencia
Son aplicables cuando el proceso está bajo control	También son aplicables cuando los datos son estacionarios o autocorrelacionados
No son aplicables cuando las suposiciones de independencia, normalidad y parametro constante son violadas	Está libre de suposiciones
No proporciona una estimación actualizada para el parámetro del proceso durante el periodo de vigilancia	Son capaces de actualizar los parámetros del proceso durante el periodo de vigilancia utilizando información a priori obtenida de la carta de control
No son aplicables cuando se tiene información parcial	Son aplicables para uso óptimo de la información del proceso
Son fáciles de calcular	Son difíciles de calcular
Necesita menos información del proceso	Necesita más información del proceso
No usan información a priori	Requiere información previa (incluso subjetiva)

Figura 2-6.: Comparación de Métodos Tradicional y Bayesiano

Los métodos tradicionales no determinan la pérdida o ganancia monetaria correspondiente a cada acción emprendida que se espera - y de hecho sucede - cambia el estado de los parámetros calculados en la fase I de la construcción de la carta de control. Segundo, con frecuencia los datos no son estacionarios o independientes lo cual viola los supuestos subyacentes de las cartas de control tradicionales. De otro lado, la aproximación bayesiana es más efectiva en esas situaciones.

En métodos bayesianos, todos los datos numéricos acumulados desde la fase I son usados como conocimiento a priori informativo para evaluar el efecto de los cambio.

3. Elicitación

3.1. Generalidades

Una fase importante en el análisis Bayesiano es la obtención de información que permita un acercamiento aceptable de la distribución a priori. Una manera de hacerlo es considerar la opinión de expertos y la representación de sus ideas o percepciones como distribuciones a priori (Andriano 2006). Elicitación de expertos es un enfoque formal de la adquisición de las creencias previas de los expertos acerca de los posibles valores de los parámetros en términos de probabilidad. En la literatura psicológica como en Moure (2008), O’Hagan, Kadane & Garthwaite (2005) y Gavasakar (1988), un experto ha sido definido como alguien que tiene conocimientos sobre el tema de su interés y adquirida a través de por lo menos diez años de educación, formación y experiencia en el campo.

Con frecuencia el analista de datos conoce muy poco acerca del problema a resolver y solamente después de comprender la naturaleza, características y límites de un problema está en capacidad de proponer resultados contundentes sobre el fenómeno bajo estudio; la elicitación es el proceso que consiste en adquirir todo el conocimiento relevante, necesario para producir un modelo del problema.

La “captura” de conocimiento es un problema en sí mismo dado que este no siempre está disponible en un formato que pueda ser usado por el analista, y además, no es fácil elicitar conocimiento desde su fuente, especialmente cuando la fuente es un “experto” humano (Thomas 2005).

Una de las metas más importantes de la elicitación es descubrir cuál es el problema que se debe resolver y, por consiguiente, establecer una condición general sobre la distribución de los datos a estudiar.

Mientras que algunos enfoques restringen las fuentes de elicitación solo a personas (Thomas 2005), otros consideran además de los expertos del dominio del problema, otras fuentes de conocimiento del dominio:

- literatura sobre el tema
- sistemas de información existentes en el área de conocimiento bajo estudio
- problemas similares ya resueltos o estudiados
- estándares

- otros “stakeholders” (personas afectadas de un modo u otro por el proceso bajo estudio).

Las actividades que abarcan las tareas del analista incluyen la identificación de todas las fuentes de conocimiento, adquirir conocimiento, decidir sobre la relevancia del conocimiento del problema, y comprender su significado y como éste afecta al problema.

La elección de la técnica de elicitación depende del tiempo y de los recursos que dispone el analista y, por supuesto, de la clase de información que se necesita elicitar. Algunos de los métodos más conocidos y usados son presentados en la clasificación de Loucopoulos & Karakostas (1995) que son análisis de objetivo y meta, originadas por el usuario, escenarios, análisis de formularios, lenguaje natural, re-uso de requerimientos y análisis de tareas; y la clasificación de Nuseibeh & Easterbrook (2000) y Thomas (2005), que son técnicas grupales, prototipos, orientadas por modelos, cognitivas y contextuales.

Un asunto adicional a tenerse en cuenta es lo que Serna (2008) llama el lenguajéo, que no es más que la forma en que nos comunicamos con nuestro entorno cercano. Nuestras ideas pueden ser entendidas de manera distinta en entornos diferentes al propio aunque se comunique en el mismo idioma o canal de comunicación.

Mosteler & C. (1990) proponen la valoración de algunas expresiones comúnmente usadas y su valoración a la luz de su significado probabilístico para diferentes profesiones y ocupaciones. Partiendo de estas premisas, se propone implementar una combinación de métodos que permita resolver las necesidades de conocimiento de los expertos, la valoración que desde su perspectiva tienen los factores que afectan a la o las variables bajo estudio, además de convergencia en la comunicación de expertos sobre la interpretación de los resultados según sus opiniones.

Tal combinación de métodos incluye el uso del Diagrama Causa Efecto reinterpretado para aportar precisión a los expertos sobre el conocimiento que se requiere de ellos, la aplicación del método de elicitación Delphi y por último la medición de la variable bajo estudio a través del método a mano alzada-, en las siguientes secciones nos ocuparemos del desarrollo del método propuesto.

3.2. Diagrama Causa Efecto

La primera parte de la propuesta de esta tesis se centra en la construcción de conocimiento específico en los expertos en relación con el problema a resolver. La alternativa que se consideró resuelve esta cuestión es la propuesta por Florak & Park (1997) desarrollada como a continuación se muestra.

Ishikawa como pionero del movimiento de “Círculos de Calidad” en Japón, propuso en la década de los sesenta una herramienta gráfica llamada Diagrama Causa - Efecto, que permite la identificación, ordenamiento y visualización de las posibles causas de un problema o una

característica de calidad (Florak & Park 1997). Este suele usarse cuando se requiere la determinación de las causas principales o las razones básicas para un determinado efecto, problema o condición, cuando se requiere el ordenamiento y relación de las interacciones entre los factores que afectan un proceso o en particular cuando se requiere el análisis a fondo de problemas existentes con el fin de determinar las acciones correctivas a implementar (Florak & Park 1997). La figura 3-1 presenta una ilustración clínica de una diagrama causa - efecto en el cual se evalúa las causas asignables a la calidad de la historia clínica a valorar por el personal de auditoría.

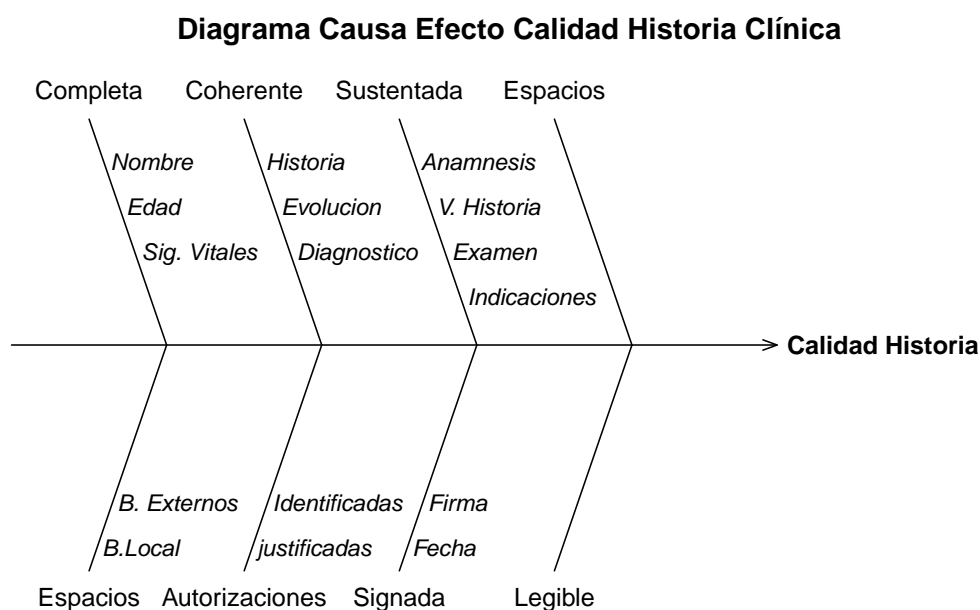


Figura 3-1.: Ejemplo hospitalario del diagrama causa efecto

el método consiste en encontrar la causa raíz al problema principal de la derecha, obteniendo información del estado u condición de las posibles fuentes de ruido, en este caso, los Materiales, las Coherencia, completa, Signada, entre otros. Cada uno de estos, a su vez, están compuestos por condiciones de variación propias de cada proceso que se estudie, para el ejemplo, la fuente de ruido Coherente, está compuesta por las condiciones de variación Historia, Evolucion y Diagnostico, las cuales a la postre pudieran afectar la calidad de la historia clínica que ordinariamente se mide con la fracción de defectos por historia encontrados.

Para efectos de esta tesis, se desarrolla el método de Ishikawa como un generador del conocimiento mas que como una herramienta de elicitación de conocimiento; esto es, una vez elegido el problema de interés, serán los expertos los que definan las fuentes de variación de la misma, dando una ponderación asociada a cada una.

A su vez, tales fuentes de variación poseen sus propias condiciones que les afectan, las cuales

son establecidas por el mismo conjunto de expertos, dándoles también un peso específico a estas últimas.

Habiendo hecho este ejercicio con el grupo considerado experto, en un proceso de construcción conjunto, el investigador puede tener certeza de que aquellos con quienes buscará opinión específica de la variable bajo estudio, han de tener el mayor conocimiento sobre la misma, proveniente este de ellos mismos y de sus pares con quienes desarrollaron el proceso Ishikawa. Si bien los expertos usados en el proceso de construcción de una distribución a priori en este caso de los límites de control de la carta de control, lo son en el sentido amplio de la palabra, no necesariamente están ligados con las cifras o características particulares del fenómeno que se quiere estudiar, en este caso la fracción de defectos por historia en la realidad de una clínica, mas si lo estarán con la fracción permisible que realmente es el asunto de interés. La herramienta que es usada para encontrar la causa raíz de un efecto conocido en un proceso en particular, ahora se usará como herramienta de generación de conocimiento específico en los expertos.

En este trabajo se formula como propuesta la ejecución del método desarrollado por Florak & Park (1997) para constituirá la siembra de una semilla de conocimiento a través de la metodología Ishikawa, no en el sentido de hallar la causa raíz del problema, sino estudiando la magnitud o calificación en que las características de calidad afectan el parámetro en estudio.

3.2.1. Operacionalización del Método

En el tratamiento de las distribuciones a priori se debe enfrentar el investigador con la captura de conocimiento puesto en cifras de los expertos (Strickler 1999); sin embargo este conocimiento probablemente no tenga la especificidad que se requiere, sino que más bien a quien consideramos experto ha venido desempeñándose en la labor, pero como antes se dijo, no necesariamente esté familiarizado con las cifras que requiere el investigador; un caso particular de esto es la ingeniería mecánica de automóviles, por ejemplo, un ingeniero que ha venido desarrollando su trabajo en un tema muy específico de motores como la disminución de la fricción entre piezas, si se le pregunta por la tolerancia que deben tener los soportes del motor, es probable que no sepa, o aunque esté enterado, no tenga claro las especificaciones requeridas por este elemento.

Aunque consideremos experto al encuestado, es claro que no necesariamente lo sea en el asunto de interés o que requiera como en general es el caso, conocer el estado del entorno que rodea el proceso de interés y específicamente el parámetro bajo estudio.

El método puede describirse de la siguiente manera:

Una vez comunicado a los expertos la variable o problema que quiere estudiarse, se especifica el grado en que cada factor contribuye con la meta por medio de un valor porcentual asociado a cada uno de ellos; la suma de los valores asociados a los diferentes factores de una meta debe

ser 100 %, esta valoración, para nosotros será plenamente subjetiva apoyándose únicamente en la experiencia y capacitación de aquellos incluidos en el estudio en calidad de expertos. Desde el punto de vista del método, este puede ser ilustrado como en la figura 3-2.

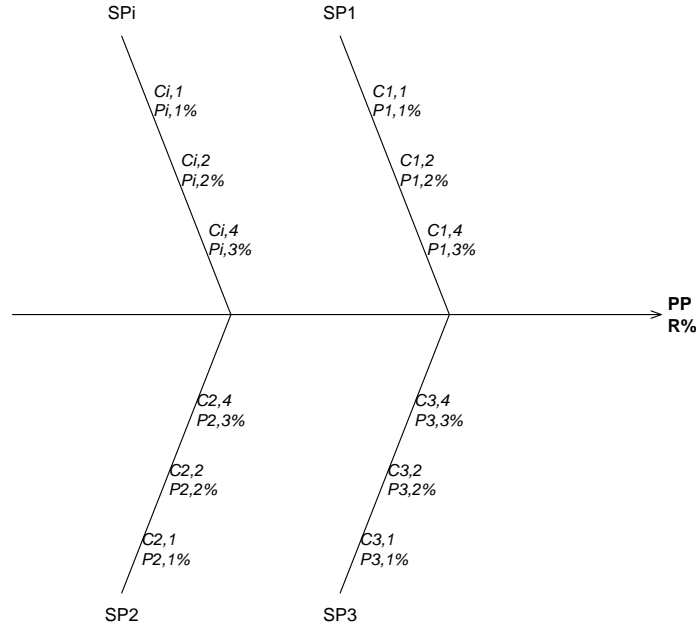


Figura 3-2.: Diagrama causa efecto para el modelo propuesto

Siendo PP : El estándar de interés, SP_i : Característica de Calidad de interés, $C_{i,j}$: los determinantes de la características de calidad asociadas al estándar i , $P_{i,j}$: es la ponderación asignada al determinante i de la característica de calidad SP_i , cada uno de estos últimos está regido por un Q_i que actúa como la relevancia o ponderación asignada a cada una de las características de calidad en el problema principal PP , R : es el porcentaje de relevancia que el estándar de interés tiene para la actividad en desarrollo para cada uno de los expertos (Zapata & Arango 2004).

Para el diagrama causa - efecto con esta notación, se cumple que:

$$\sum_{i=1}^n Q_i \left(\sum_{j=1}^n P_{i,j} \right) = 100 \% \quad (3-1)$$

$$\forall i, \sum_{j=1}^m P_{i,j} = 100 \% \quad (3-2)$$

La información recolectada deberá plasmarse en una tabla para el análisis de los datos como corresponde para su presentación a los expertos.

Vale decir que, además deberá agregarse la calificación que desde la perspectiva del especialista tiene cada determinante de cada característica de calidad - ver tabla **3-1** -.

Tabla 3-1.: Calificaciones y ponderaciones modelo Ishikawa

Característica de Calidad	Relevancia de la Características de Calidad	Determinante de la de Calidad	Ponderación del Determinante Características	Calificación
SP_1	Q_1	$C_{1,1}$	$P_{1,1}$	$Calif_{1,1}$
SP_1	Q_1	$C_{1,2}$	$P_{1,2}$	$Calif_{1,2}$
SP_i	Q_i	$C_{i,j}$	$P_{i,j}$	$Calif_{i,j}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
SP_n	Q_n	$C_{n,m}$	$P_{n,m}$	$Calif_{n,m}$

Donde m es la cantidad de determinantes asociados con cualquiera de las características de calidad que se asocian al estándar de interés principal.

Es nuestro interés, ahora presentar a los expertos, no solo un cuestionario que permita ejecutar un proceso de determinación de los límites de control de interés, sino además, darles herramientas de significativo valor sobre el estado del arte de las variables exógenas que afectan la variable y pudieran modificar su opinión de manera significativa.

Ejecutada la primera etapa del método propuesto, en el que las opiniones posean como argumentos los originados de la técnica además de los ambientales (emanados de la etapa previa) y habiendonos asegurado de que todos - expertos e investigador - tiene claridad conceptual y técnica sobre la variable bajo estudio, procedemos al proceso de determinación de la distribución a priori.

Ha de formularse un mecanismo que integre el conocimiento del marco de referencia presentado con la distribución de probabilidad que nos interesa elicitarse, para ello existen múltiples alternativas, entre ellas, el método Delphi descrito en la sección 3.3 y la elicitación a mano alzada descrita en la sección 3.4.

Se consideró conveniente utilizar la combinación de ambas técnicas dado que la primera permite ilustrar a los expertos participantes en la investigación sobre el estado del arte de la variable en opinión de sus colegas, que significa que tendrán más información sobre como sus pares están valorando el problema bajo estudio y el segundo método, permite a quienes no están familiarizados con problemas estadísticos, otorgar distribuciones de probabilidad explícitas pero provenientes de su subjetividad al problema que tienen entre manos.

El método a mano alzada es usado en la última ronda del método Delphi, integrando las metodologías de tal suerte que los resultados sean mejorados en cuanto a la distribución de probabilidad a priori que quiere hallarse.

3.3. El Método Delphi

El objetivo del método de elicitación Delphi, en palabras de sus creadores, es “obtener el consenso de opinión más fidedigno de un grupo de expertos” (Landaeta 1999).

El método Delphi, ideado originalmente a comienzos de los años 50 en el seno del Centro de Investigación estadounidense RAND Corporation por Landaeta (1999), como un instrumento para realizar predicciones sobre un caso de catástrofe nuclear. Desde entonces, ha sido utilizado frecuentemente como sistema para obtener información sobre el futuro.

Turoff & Linstone (2002) definen la técnica Delphi como un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo.

Un proceso Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro - en nuestro caso se usará para la definición de un límite de Control - . Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas anónimas, con el objetivo de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes.

Por lo tanto, la capacidad de predicción de la Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos. Es decir, el método Delphi propende por medio de la interrogación a expertos, poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos.

Los pasos a que se llevarían a cabo para garantizar la calidad de los resultados, son (Astigarraga 1994):

- **Formulación del Problema:** Es importante por cuanto es preciso estar seguros que los expertos reclutados poseen todos la misma noción sobre el campo de estudio.
La elaboración de un cuestionario debe formularse con preguntas claras, precisas y cuantificables e independientes.
- **Elección de Expertos:** El término experto es ambiguo. Con independencia de sus títulos, función o su nivel Jerárquico, el experto deberá ser elegido por su capacidad de encarar el futuro y posea conocimientos sobre el tema consultado.
- **Elaboración y lanzamiento del Cuestionario:** Se elaboran de manera que faciliten, en la medida en que sea posible, la respuesta por parte de los consultados; las respuestas deberán poder ser cuantificadas y ponderadas.
- **Desarrollo Práctico y Exportación de Resultados:** Se ejecuta la consulta en dos etapas pasando por la presentación de los resultados de la primera de ellas, solicitando las explicaciones pertinentes a fin de publicarlas para precisar mejor las opiniones en la segunda ronda o incluso una tercera de ser necesario.

El objetivo de los cuestionarios sucesivos es disminuir el espacio intercuartil de las respuestas obtenidas. El objetivo del primer cuestionario es definir el espacio intercuartil. El segundo suministra a cada experto las opiniones de sus colegas y abre un debate transdisciplinario, para obtener un consenso en los resultados y una generación de conocimiento sobre el tema. Cada experto argumentará (si es del caso) los pro y los contra de las opiniones de los demás y de la suya propia. Con la tercera se espera un mayor acercamiento al consenso e incluso el cierre de la elicitación. Un esquema general del método es el que se observa en la figura 3-3 (Tomado y modificado de (Landaeta 1999)).

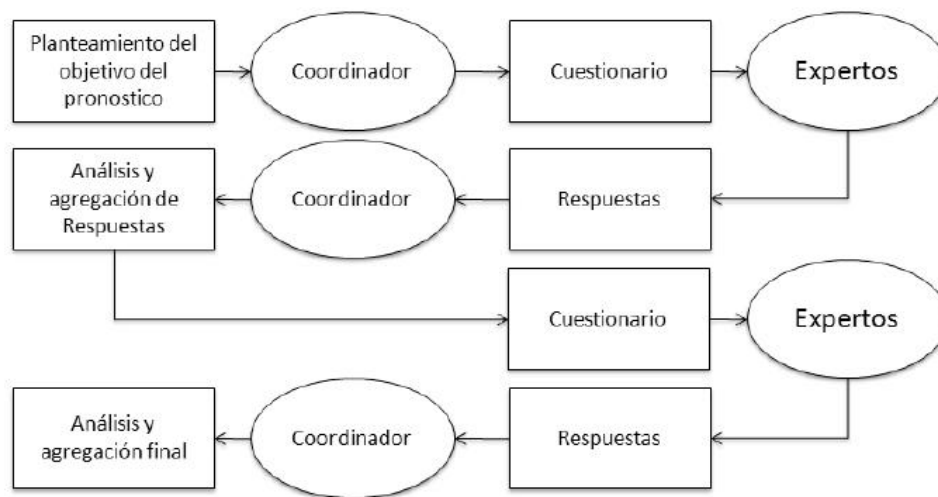


Figura 3-3.: Diagrama proceso Delphi de elicitación

En el caso de las cartas de control, se observa una necesidad cada vez mas recurrente de iniciar proceso de verificación o control del proceso sin pasar por la etapa base o de construcción de los límites de control.

En la etapa base se espera la consolidación del proceso de tal suerte que se considere que no hay causas asignables de variación, sino que por el contrario, todas las mediciones del proceso incluidas en la carta de control provengan de causas aleatorias con lo cual se está listo para construir unos límites de control tradicionales.

En muchos casos, se encuentran problemas de costo o tiempo que limitan la ejecución de esta etapa base, por ejemplo la resistencia a impactos del motor de un vehículo, proceso en el cual, en la práctica se mide a través de ensayos destructivos de alto costo (para el ejemplo), con los cuales se extrae un solo dato (Landaeta 1999).

Otro problema frecuente es el tiempo que transcurre entre una medición y otra, como por ejemplo la tasa de fallas de baterías de teléfonos móviles, para los cuales debe esperarse precisamente que falle una artículo que está pensado para durar (Landaeta 1999).

Así, el método de elicitación Delphi se presenta como una herramienta que facilita la cons-

trucción de la carta de control, con información previa a la toma de datos de verificación, sin tener que pasar por el periodo base que como se mencionó puede ser costoso en dinero y tiempo.

3.4. Método de elicitación a mano alzada

La técnica consiste en la construcción de una distribución de probabilidad por el experto, el cual no necesariamente debe tener conocimientos estadístico para su formulación.

En primera instancia se define el evento sujeto de análisis al cual se le designa una variable aleatoria sea discreta o continua, la cual se sitúa en el eje X de un plano bidimensional. Hecho esto, se le asigna niveles de certeza en cuanto a la ocurrencia de un evento en una escala creciente pero no necesariamente numérica, sino mas bien intuitiva tal como poco probable, probable, muy probable, altamente probable, definitivamente ocurrirá, que son nociones de probabilidad que pueden ser entendidas por cualquier persona.

Paso siguiente se pide al experto asignar una medida de probabilidad a cada posible realización de la variable aleatoria, asignando un punto en el cruce de la realización con la unidad de medida de probabilidad, sin que necesariamente esté exactamente en una de las escalas para esto fijadas.

Como resultado se obtiene una distribución de probabilidad empírica que establece el concepto que el experto tiene sobre la ocurrencia de cada posible valor de la variable respuesta (Correa 2005).

Como resultado de la aplicación de estos métodos se obtiene una elicitación en tres etapas (Ishikawa - Delphi - Mano alzada) obteniéndose entonces una distribución a priori proveniente de expertos conocedores de las cifras y los hechos que rodean el marco del problema, enterados de las opiniones objetivas y en cifras de sus pares y que aportan (una vez ejecutada la tercera etapa) una distribución a priori aún más coincidente con la realidad para el analista.

4. Carta de Control Elicitada

La propuesta consiste en la aplicación de una herramienta expedita que permita definir unos límites de control provenientes de la experiencia de quienes conocen del tema y están en permanente contacto con él, además de evidenciar las consecuencias de un inadecuado control.

En el proceso de elicitación se incorpora la especificación del conocimiento de los expertos en la variable de interés, dándoles con esto mayores elementos de juicio al calificar los niveles de control que les serán pedidos.

Para el cumplimiento del objetivo, se transformó ligeramente su uso para determinar de una manera más expedita el estado del arte del entorno que rodea la variable a controlar de tal suerte que pueda en su aplicación cubrir dos objetivos del proceso de elicitación diseñado, el primero es el hecho de calificar numéricamente el universo en que la variable se mueve y dos, el aporte de conocimiento “extraído” de cada experto y la presentación de este ante todos los sujetos involucrados en la investigación a quienes se les da tal tratamiento ver Kadane & Wolfson (1998); O’Hagan et al. (2005) y Woodward & Naylor (1992).

4.1. Elicitación de la Distribución a Priori de los Límites de Control

Debe darse claridad en este punto del concepto mismo de elicitación, Cooke (1994) nos define el proceso como: “técnicas de obtención de conocimiento y de información” un sinónimo usado con frecuencia es “sonsacar”; nótese a partir de esta definición, pueden formularse tantas técnicas como investigadores hagan propuestas, además del hecho que el objeto es procurar información relevante, de interés y lo más precisa posible con la ayuda de métodos que usan la Psique de los individuos, proporcionándoles información externa para concluir idealmente consensos sobre el fenómeno bajo estudio.

Una vez determinada la ponderación que los expertos tienen en el estudio y habiendo presentado a estos los resultados del estado del arte de las condiciones o características del ambiente que definen la variable de interés, ha de procederse a la elicitación propiamente dicha.

El objetivo de este capítulo es la integración de un método bayesiano de control, García & Layron (2001) proponen un esquema de un modelo dinámico para el control de procesos que

se presenta con ajustes y que servirá como marco para la componente final de la aplicación desarrollada en el capítulo 5.

Este esquema es aplicable a problemas relativos a proporciones y dada la naturaleza de la aplicación presentada en el capítulo 5. Nos interesan experimentos con dos posibles resultados, uno de los cuales será éxito y el otro fracaso.

Un ejemplo para el uso de esta herramienta es la observación de nacimientos, en los cuales puede designarse éxito a la muerte del producto del embarazo ó por el contrario fracaso, será sobrevivencia del feto al nacer. Nos interesa obtener información acerca de una proporción, por ejemplo sus valores típicos o si es menor o mayor que un valor predeterminado.

La situación que consideramos es la siguiente: se desea recoger y proporcionar información sobre p , la proporción de casos en que se produce cierto fenómeno, pudiéndose dar solo dos resultados. Disponemos de unas creencias iniciales que pueden tomar valores entre cero y uno. Se tiene que determinar la distribución suficientemente flexible que modele estas creencias sobre las proporciones. Una posible distribución es la *Beta* (García & Layron 2001).

Una variable aleatoria tiene una distribución *Beta* de parámetros α, β en $[0, 1]$ (y se representa como $X \sim Be(\alpha, \beta)$), con $\alpha, \beta > 0$ si su función de densidad es

$$f(x | \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} & \text{para } 0 < x < 1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (4-1)$$

Los momentos de esta distribución son $\mu = \frac{\alpha}{\alpha+\beta}$ y $\sigma^2 = \frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1)}$, en nuestro caso, se tiene que

$$f(p | \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} p^{\alpha-1} (1-p)^{\beta-1} & \text{para } 0 < p < 1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (4-2)$$

y

$$\begin{aligned} E(p) &= \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \\ Var(p) &= \frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1)} \end{aligned} \quad (4-3)$$

4.1.1. Planeamiento del modelo Beta-binomial

El problema que se plantea es el siguiente: se supone un experimento que consiste en observar n casos independientes, registrándose el número de casos favorables que se presentan.

La verosimilitud es, en este caso, binomial, teniéndose

$$P(X = x | p) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad \text{para } x = 0, 1, \dots, n. \quad (4-4)$$

Se realiza, por tanto, el experimento y supongamos que se producen x éxitos. Nuestro interés se centra en estimar la proporción p de éxitos dada la muestra.

Desde el punto de vista bayesiano, asumimos que tenemos una información previa sobre p que se modela mediante la distribución a priori de p que hemos supuesto que se recoge mediante una función de densidad de probabilidad *Beta*. Actualizamos entonces nuestras creencias sobre p aplicando el teorema de Bayes. se tiene

$$\begin{aligned} f(p | x) &= \frac{f(p)P(x|p)}{P(x)} \\ &\propto \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} p^{\alpha-1} (1-p)^{\beta-1} \times \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \\ &\propto p^{x+\alpha-1} (1-p)^{n-x+\beta-1}, \quad p \in (0, 1) \text{ y } f(p | x) = 0 \text{ para } p \notin (0, 1) \end{aligned} \quad (4-5)$$

Resulta por tanto que la distribución a posteriori de p sigue una *Beta* con parámetros $(x + \alpha)$ y $(n - x + \beta)$.

Para el problema de interés en este trabajo, resulta de singular interés establecer métodos para la estimación por intervalos y para la predicción por cuanto son estos los que permitirán establecer los límites de control de nuestra carta de control bayesiana con límites de control formulados con la ayuda del método de elicitación propuesto; para ello, desarrollamos así la propuesta hecha por Marín (2008).

En este punto estamos en posición de definir una forma adecuada de establecer los intervalos de interés, se trata de construir un intervalo que con cierta probabilidad r , cubra el valor de p ; esto es, un intervalo con extremos a y b que satisfagan lo siguiente

$$\int_a^b f(p|x) dp = r \quad (4-6)$$

Normalmente se escogen a y b de manera que a deja probabilidad $\frac{1-r}{2}$ a su izquierda y $\frac{1-r}{2}$ a su derecha.

4.1.2. Predicción

Dados los datos $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)'$, Supongamos que se requiere predecir el valor de una observación futura x_{n+1} . Para ello, hay que calcular la distribución predictiva así:

$$f(x_{n+1} | \mathbf{x}) = \int f(x_{n+1} | \theta, \mathbf{x}) f(\theta | \mathbf{x}) d\theta \quad (4-7)$$

En general, si estamos interesados en r éxitos en los m siguientes ensayos haremos:

$$\begin{aligned}
P(r \text{ éxitos en } m \text{ ensayos} | \mathbf{x}) &= \int_0^1 \binom{m}{r} p^r (1-p)^{m-r} f(p|x) dp \\
&= \int_0^1 \binom{m}{r} p^r (1-p)^{m-r} \frac{\Gamma(n+\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha+x)\Gamma(n-x+\beta)} \times \\
&\quad p^{x+\alpha-1} (1-p)^{n-x+\beta-1} dp \\
&= \binom{m}{r} \frac{\Gamma(n+\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha+x)\Gamma(n-x+\beta)} \frac{\Gamma(r+x+\alpha)\Gamma(m-r+n-x+\beta)}{\Gamma(m+n+\alpha+\beta)}
\end{aligned} \tag{4-8}$$

Basta con construir una adecuada elicitación de los hiperparámetros α y β para tener una estimación del parámetro p de interés.

5. Aplicación del Modelo

En este capítulo se ofrecerá una aplicación del método propuesto en el capítulo 4. La primera parte describe la inducción a los especialistas intervinientes en pensar el estado del arte o situación del modelo de salud de la institución en la que están inmersos y posteriormente se ejecutará la propuesta Delphi en tres etapas descrita también en el capítulo anterior.

El método a mano alzada (Correa 2005) presentado en la sección 5.5 se convierte en una alternativa eficiente pues permite además de objetivizar los pensamientos del experto, ponerlos de manera muy clara tanto para el investigador como para el encuestado en el papel; esto es, visibles para todos los interesados y de fácil conversión a magnitudes de interés estadística (Kathryn, Church, Louis & Matts 1992).

El ejercicio de la medicina y de las profesiones sanitarias, tanto en la medicina institucionalizada como en la privada, está basada en la relación médico-paciente de la que se derivan derechos y deberes recíprocos. El profesional sanitario para prestar una buena y adecuada asistencia tiene que respetar los derechos del paciente o cumplir con todos sus deberes, lo cual resulta muchas veces difícil dada nuestra realidad asistencial (Giménez 2014).

Los profesionales, técnicos y auxiliares que intervienen directamente en la atención a un usuario de un servicio de salud, tienen la obligación de registrar sus observaciones, conceptos, decisiones, y resultados de las acciones en salud desarrolladas conforme a las características señaladas en la resolución Ministerial 1995 de 1999 en un documento nominado historia clínica.

Dentro del contexto medicolegal y ético del ejercicio de las profesiones sanitarias, la historia clínica adquiere su máxima dimensión en el mundo jurídico, porque es el documento donde se refleja no sólo la práctica médica o acto médico, sino también el cumplimiento de algunos de los principales deberes del personal sanitario respecto al paciente: deber de asistencia, deber de informar, etc., convirtiéndose en la prueba documental que evalúa el nivel de la calidad asistencial en circunstancias de reclamaciones de responsabilidad a los profesionales sanitarios y/o a las instituciones públicas.

Todo lo anteriormente expuesto nos indica la gran importancia de la historia clínica desde varios puntos de vista: asistencial, ético, medicolegal. Todos los aspectos que rodean y afectan a la historia clínica no pueden ser obviados por el profesional sanitario.

La Historia Clínica es un documento privado, de obligatorio diligenciamiento y sometido a reserva, en el cual se registran cronológicamente las condiciones de salud del paciente, los actos médicos y los demás procedimientos ejecutados por el equipo de salud que inter-

viene en su atención. Dicho documento únicamente puede ser conocido por terceros previa autorización del paciente o en los casos previstos por la ley (Manrique & A. 2013).

La historia clínica siendo un documento de registro consecutivo de multiplicidad de datos provenientes de diversas fuentes técnicas, es muy susceptible de contener errores por distintas causas.

Las historias clínicas son evaluadas permanentemente por personal médico, especialista en auditoría, el cual es el responsable de hacer mediciones subjetivas y objetivas de las características de calidad antes mencionadas convirtiendo tales evaluaciones en cifras relacionadas con la cantidad de no conformidades en ellas alladas.

5.1. ¿Qué se mide en la historia clínica?

La historia clínica es un documento esencial para la asistencia, con implicaciones legales y que además desempeño de otras funciones: docencia, investigación, evaluación de calidad y gestión de recursos. Para ello la historia clínica ha de reunir una serie de características en cuanto a: contenido informativo, ordenación lógica, normalización documental y legibilidad, que se hallan recogidas en diversas recomendaciones, normas y legislación al respecto (Pérez 2001). A modo de síntesis, se puede afirmar que la historia clínica debe contener suficiente información para identificar al paciente, justificar el diagnóstico y tratamiento, y documentar los resultados de la asistencia.

Las no conformidades de este documento son clasificadas por los especialistas en auditoría médica en dos categorías así:

1. No conformidades mayores
 - Evaluación prequirúrgica deficiente.
 - Decisión quirúrgica inoportuna.
 - No existe plan de trabajo para diagnósticos concomitantes ni presuntivos.
 - Operación practicada no era prioritaria.
2. No conformidades menores.
 - Falta hora de llenado de historia clínica.
 - Falta nombre completo y firma de quien hizo historia clínica.
 - Falta evaluación o medicioón de síntomas.
 - No tiene registrado los diagnósticos presuntivos.
 - No tiene registrado el plan de trabajo.
 - Falta nota de ingreso.

- Estudio de imágenes insuficiente para Diagnóstico presuntivo.

Para garantizar que la historia clínica sea un medio de comunicación de la información acerca de la atención prestada al paciente, que sirva de evidencia de la evolución de los pacientes, de sus enfermedades y tratamiento, para fines legales, financiación de la asistencia, docencia, gestión de la calidad y por fin, proporcione datos clínicos para actividades administrativas, de investigación y docencia, se debe controlar su calidad.

5.2. Descripción del Problema

En el caso de la clínica de la Policía de Envigado, tal evaluación se hace con un conjunto de historias clínicas elegidas al azar del conjunto de pacientes atendidos en el mes anterior cuyo tamaño de muestra es determinado a partir de la cantidad de pacientes vistos; también se hace énfasis en las historias clínicas provenientes de pacientes vistos por médicos a quienes en el pasado se les detectó niveles de no conformidad no óptimos.

Nuestro problema es elicitar los límites de control de la carta de control del número medio de defectos por historia clínica (o carta de control u) de las historias clínicas evaluadas por los especialistas. Tales límites de control serán determinados por un proceso en el que se incluye la ejecución del proceso descrito en el capítulo 2 desarrollado con los auditores y la historia de los controles que tales profesionales tienen representados en datos históricos de su trabajo.

5.3. Aplicación del Proceso Ishikawa

Las características de calidad usadas como derrotero para la calificación de la calidad de las historias clínicas están establecidas por la Resolución ministerial 1995 de 1999 en el cual se dictamina que:

Las disposiciones serán de obligatorio cumplimiento para todos los prestadores de servicios de salud y demás personas naturales o jurídicas que se relacionen con la atención en salud.

Las características básicas son:

- Integralidad: La historia clínica de un usuario debe reunir la información de los aspectos científicos, técnicos y administrativos relativos a la atención en salud en las fases de fomento, promoción de la salud, prevención específica, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de la enfermedad, abordándolo como un todo en sus aspectos biológico, psicológico y social, e interrelacionado con sus dimensiones personal, familiar y comunitaria.
- Secuencialidad: Los registros de la prestación de los servicios en salud deben consignarse en la secuencia cronológica en que ocurrió la atención. Desde el punto de vista

archivístico la historia clínica es un expediente que de manera cronológica debe acumular documentos relativos a la prestación de servicios de salud brindados al usuario.

- Racionalidad científica: Es la aplicación de criterios científicos en el diligenciamiento y registro de las acciones en salud brindadas a un usuario, de modo que evidencie en forma lógica, clara y completa, el procedimiento que se realizó en la investigación de las condiciones de salud del paciente, diagnóstico y plan de manejo.
- Disponibilidad: Es la posibilidad de utilizar la historia clínica en el momento en que se necesita, con las limitaciones que impone la Ley.
- Oportunidad: Es el diligenciamiento de los registros de atención de la historia clínica, simultánea o inmediatamente después de que ocurre la prestación del servicio.

Como se estableció en el capítulo 2 en la definición del método propuesto, es menester establecer las características de que definen el estándar de interés. Dado que se pretende establecer los límites de control para el número medio de defectos por historia clínica, puede decirse que tales características son, además de las mencionadas en la sección 5.1, determinadas por las que arriba se mencionan, en tal sentido se procederá a valorar el peso que cada una de ellas tiene en el foco de interés como su estado actual. Para ello se optó por consultar los especialistas responsables de la labor de auditoría de las historias clínicas en la clínica de la Policía pues son estos los que a diario están en contacto con el problema y con lo que lo afecta.

La figura **5-1** presenta las características de calidad y los determinantes de calidad definidos con los especialistas a la luz de la Resolución ministerial 1995 de 1999.

Estas características de calidad son las que permanentemente hacen parte de la evaluación que hacen los auditores a los médicos.

Los resultados del proceso Ishikawa permiten en este proceso de elicitación poner a los especialistas a tono con el conocimiento del entorno que rodea al problema permitiéndole agregar conocimiento a las decisiones que en la etapa siguiente (Delphi) va a tomar.

También, permite ahondar en las posibilidades de tiempo, infraestructura, tecnología, proceso y otros que el personal de salud tiene para responder de manera expedita a las exigencias que la organización le impone para el cumplimiento de los mejores estándares en el diligenciamiento de la historia clínica.

Las respuestas a las cuestiones formuladas en el interrogatorio **A-1** se presentan en la figura **5-2** constituyéndose estas en la ejecución del proceso Ishikawa que, como se dijo antes, remite a los especialistas ir más allá del conocimiento de la cifra de defectos por unidad revisada, sino que también los acerca a tener un conocimiento superior sobre el entorno del citado indicador, que a la postre le permitirá ofrecer opiniones más argumentadas sobre los límites de control que debe tener la carta de control de número de defectos por historia clínica sometidas a pesquiza de auditoría.

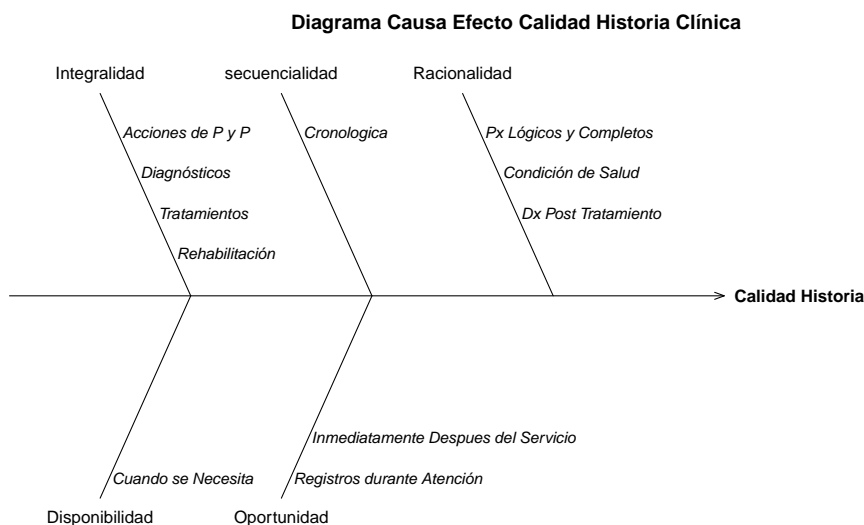


Figura 5-1.: Ilustración de las características y determinantes de calidad valorados a través del proceso Ishikawa para la contextualización de los Especialistas

Con este resultado ya estamos en capacidad de pedir a los especialistas que opinen sobre el objeto final de interés en cual es la número de defectos por historia clínica en la Sanidad Policial, así que se procede a la segunda etapa del método propuesto que es la ejecución de un esquema de extracción de información Delphi.

5.4. Proceso Delphi

Habiendo obtenido los resultados de la etapa Ishikawa, se presentó a los especialistas algunos resultados de controles hechos sobre este mismo indicador en otras instituciones de salud del mismo nivel de complejidad, dentro de las cuales se encuentra la clínica de Sabaneta y el Hospital de San Jerónimo.

Hecho esto, se les presentó por parte del proceso Jurídico la importancia que está teniendo para la institución el hacer un adecuado seguimiento y control de la calidad de las historias clínicas mostrándoseles algunos resultados de la labor del proceso en mención que resultaron ser no menos que escasos en ganancia institucional redundando esto en demandas de repetición contra los mismos profesionales de la salud.

Es menester tener cuidado con la forma en que se pregunta tanto como en la pregunta misma, todos los pensamientos presuponen una base de información; así que como hasta ahora se ha hecho, presumiremos que los expertos no comprenden del todo el problema bajo estudio o la información de trasfondo que se ha presentado en el estudio (hechos, datos, experiencia de los demás especialistas) que la apoya o informa.

Característica de calidad			Auditor 1		Auditor 2		Auditor 3			
	Peso asignado por Auditor 1	Peso asignado por Auditor 2								
			Determinación de la característica de calidad	Peso del Determinante	Calificación	Peso del Determinante	Calificación	Peso del Determinante	Calificación	
Integralidad	4,5	3,5	La H.C. Permite registrar las acciones de fomento de la salud	4	4	2	3	4	3	3,4
			La H.C. Permite registrar las acciones de Promoción de la Salud y Prevención de la Enfermedad.	2	3	4	4	2	4	3,8
	4	La H.C. Permite registrar las acciones de Prevención Específica	4	3	2	4	2	5	3,8	
		La H.C. Permite registrar los Diagnósticos	2	5	2	3	4	4	4,0	
		La H.C. Permite registrar los tratamientos	4	4	4	4	3	3	3,7	
		La H.C. Permite registrar las acciones de rehabilitación	3	5	2	5	2	4	4,7	
		La H.C. De los pacientes se presenta en forma cronológica para el Médico	3	4	4	3	2	4	3,6	
Racionalidad Científica	4	4,5	La H.C. Permite hacer los registros en forma lógica y completa de los Procedimientos	4	4	3	4	4	5	4,4
			La H.C. Permite hacer los registros en forma lógica y completa de las condiciones de salud del paciente	3	3	3	4	2	4	3,6
	La H.C. Permite hacer los registros en forma lógica y completa de los diagnósticos posteriores al plan de manejo	3	5	2	3	4	4	4,1		
Disponibilidad	5	5	Los procesos de la Clínica permiten disponer de la H.C. Cuando se necesita	4	4	3	5	2	3	4,1
Oportunidad	3	3,5	Los procesos permiten registrar simultaneamente con el servicio	3	3	3	3	2	4	3,3
			Los procesos permiten registrar inmediatamente despues de que ocurre el servicio	3	4	3	5	2	5	4,6

Figura 5-2.: Calificación de las características de calidad y sus determinantes

Se acude a las sugerencias presentadas por Elder & Paul (2002), para el adecuado planteamiento del cuestionario que llevará al experto a la decisión que estamos desarrollando.

Así mismo, se usará la estructura de diseño de encuesta propuesto por Saris & Gallhofer (2007) quienes citan como el adecuado orden de formulación el siguiente:

5.4.1. Variables

Para este estudio nos ocupa solo una variable, que es el número de defectos por historia clínica puestas bajo pesquiza del proceso de auditoría de historias clínicas.

5.4.2. Método de Recolección de Datos

Los datos serán recolectados a través de encuesta directa con los expertos elegidos, un conjunto de preguntas arrojará como resultados números, mientras que la última tendrá como resultado un gráfico construido en distintos momentos sobre el mismo objeto de estudio que finalmente se constituirá en el gráfico de interés. se obtendrá como resultado final un único gráfico correspondiente a la distribución de probabilidad empírica mezclada de las opiniones de los expertos.

5.4.3. Motivación de las preguntas

La primera pregunta del cuestionario A.3 es motivada por los hechos evidenciados en la primera parte de la investigación y es que aunque las personas sean especialistas en un tema, eso no los hace conocedores profundos de cada detalle, así que se consideró necesario valorar a qué nivel de conocimiento se sienten los especialistas con el tema.

La segunda pregunta permite establecer la objetividad respecto de las cifras a contestar en los numerales siguientes, pues de hecho el ser especialista no en el tema bajo estudio, no lo hace interesado en todo lo que con él está relacionado lográndose de este modo algún nivel de simpatía con el tema en caso de que no lo hubiese.

El resto de preguntas permiten elicitar los límites de control superior e inferior de la carta de control teniendo con esto un cuantil 0,025 y uno 0,975 de la distribución de probabilidad resultante del último paso del proceso Delphi que es la construcción de la distribución a mano alzada.

5.4.4. Operacionalización de las variables

La operacionalización consiste en trasladar los conceptos a preguntas. “...muchas personas quienes no están familiarizadas con el diseño de cuestionarios, piensan que hacerlos es muy simple. Esto es un común y serio error” (Saris & Gallhofer 2007).

En el diseño del cuestionario, deben tomarse algunas decisiones acerca de qué y cómo ha de preguntarse para obtener la respuesta de la forma en que se requiere:

1. La primera decisión es elegir el sujeto y la dimensión de la preguntas, un ejemplo es en el que se desea conocer la opinión acerca de si la invasión a Irak en 2003 (Saris & Gallhofer 2007) fue un éxito; en este caso, para la primera decisión puede formularse preguntas como:

- ¿Fue la invasión un éxito?
- ¿Fue la invasión justificada?
- ¿Fue la invasión importante?

Es un hecho que el sujeto aquí (la invasión) puede verse diferente en relación a las preguntas y que las respuestas aunque pudiesen ser iguales, responden a cosas decididamente diferentes.

2. La segunda decisión es la formulación de la pregunta, muchas formas distintas pueden proponerse para hacer las preguntas; por ejemplo:

- ¿Fue exitosa la invasión?
- Por favor, dígame si la invasión fue exitosa
- Ahora me gustaría preguntarle si la invasión fue un éxito?
- ¿Está de acuerdo con la afirmación de que la invasión fue un éxito?

De nuevo, hay muchas posibles formas de preguntar, que llevan a respuestas monosílabas, o a discursos o a números; es por ello que antes de preguntar, debe tomarse la decisión tres.

3. La tercera decisión es la escogencia de una adecuada escala de respuesta, aquí de nuevo pueden formularse muchos ejemplos:

- ¿Fue la invasión un éxito?
- ¿Cuán exitosa fue la invasión?
- ¿Cuán exitosa fue la invasión? Exprese su respuesta con un número entre cero y cinco.

4. La cuarta decisión que está relacionada con la agregación de texto, añadiendo por ejemplo una introducción, información extra, definiciones, instrucciones o una motivación a la respuesta.

En el caso usado en el ejercicio, se usó como herramienta de cuestionario, los elementos descritos de la siguiente manera: El sujeto de investigación es el número de defectos por

historia clínica en la sanidad policial y la dimensión fué elegida como la fracción tope que se permitiría el especialista para la generación de una alarma.

En cuanto a la categoría de respuesta, se eligió no un método de respuesta directa, sino más bien la presentación de un dibujo que determinara no solo su creencia respecto del citado tope, sino que también permitiera observar el camino tomado por el experto hasta alcanzarlo.

El método es elicitación a mano alzada (Kathryn et al. 1992), básicamente permite elicitar la distribución de probabilidad de la variable de interés a través del dibujo que el experto hace sobre una referencia.

Finalmente, en relación con el texto adicional, se entregó suficiente material al experto de tal suerte que pudiera tomar su decisión con base en conocimiento cierto y fresco.

En primera instancia se le permitió participar en la construcción de la calificación del “Estado de Salud” de la atención en la sanidad Policial, en segunda se le preguntó directamente sobre el tema tanto al experto integrante de la elicitación final, como a otros expertos de la atención, de nuevo dándoseles a conocer los resultados.

Luego, se les presentó en tres escenarios distintos la situación actual de las cifras y de los pacientes en contacto con este subsistema de salud de tal forma que sus ideas en relación con la pregunta fueran firmes y con argumentos sólidos. En cada etapa mencionada se les presentó sus propios resultados y la de los otros expertos, permitiéndolo la discusión indirecta. Se solicitó su opinión final acerca del número de defectos que máximo y mínimo que estaría dispuesto a tolerar (o tope) de las historias clínicas antes de generar una alarma, con lo cual se construyó finalmente una distribución a priori del parámetro de interés.

Es claro, que se ha dado rigor al método propuesto por Saris, et al. (Saris & Gallhofer 2007) integrándose o acoplándose este método al propuesto de tal suerte que se hizo uno solo.

Para ver la propuesta definitiva de cuestionario, ver Apéndice A.3

5.4.5. Prueba del Cuestionario

El cuestionario se puso en consideración de personas diferentes a los tres expertos pero integrantes también del sistema de salud de la Policía; no puede decirse propiamente que se probó en cada etapa del interrogatorio, sin embargo, sí puede decirse que se hizo correcciones necesarias para su adecuado entendimiento por los intervinientes.

5.4.6. Expertos

Una de las dificultades principales en el proceso de ejecución del proceso Ishikawa tanto como del proceso Delphi fue la tarea de encuestar a especialistas con una agenda tan cerrada. A modo de conclusión se usó como expertos solo a dos de ellos, los tres participes en el proceso de evaluación de las historias clínicas pero en distintos ámbitos de atención, esto es, Ambulatoria, Hospitalaria y Quirúrgica.

5.5. Resultados

La tercera y última ronda del proceso Delphi es la elicitación a mano alzada que es la usada como definitiva en el proceso de elicitación de la distribución del número de defectos por historia clínica. Para ello se usó la función `fitdistr` del paquete MASS de R, para lo cual se debió hacer las mediciones directas sobre las elicitaciones construidas por los especialistas como resultado del cuestionario 2 del anexo A.3 a mano alzada las cuales pueden interpretarse como la probabilidad de ocurrencia del evento correspondiente en el eje x en este caso el número de defectos por historia clínica.

Una de las observaciones que debe hacerse es la necesidad de un límite inferior; como se mencionó antes, es relevante el hecho de que es de los inconvenientes que se tiene en el análisis de los datos es el subregistro por no reporte o por negligencia del auditor, así pues, vale la pena definir un límite inferior que permita tomar medidas administrativas para la sujeción a los protocolos, mientras que el límite superior hablará de problemas que redundarán en la salud o calidad de vida de la población afectada por esta variable.

Los resultados obtenidos de este proceso Delphi en sus dos primeras rondas son presentados en la tabla 5-1 destacando que después de la primera ronda, se desarrolló dos actividades, la primera la retroalimentación a los expertos sobre las repuestas a las mismas preguntas hechas a los otros dos, y las segunda, que se indicó los resultados jurídicos de la Clínica producto de la la calidad mejorable de los registros en las historias clínicas

Pregunta	Auditor 1		Auditor 2		Auditor 3	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	4	4.5	4	4	4.5	4
2	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
3	7	6	6	5	5	6
4	1/100	5/100	5/100	5/100	3/100	5/100
5	3	3	3	3	4	3
6	No	No	No	No	No	No
7	5	5	5	5	5	4
8	5/100	2/100	5/100	3/100	2/100	5/100
9	4	4	4	4	4	3
10	1	1	2	1	1	2
11	0.4	0.3	0.5	0.3	0.4	0.5
12	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
13	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
14	5/100	5/100	5/100	5/100	5/100	0

Tabla 5-1.: Resultados de las dos primeras rondas de elicitación para los tres auditores.

La ronda dos se ejecutó posterior a la discusión de las actuales cifras de no conformidades con el proceso de estadística, lo que entregó mas información para la toma de decisiones por parte del auditor en relación con las preguntas. También se le presentó a cada especialista la tabla 5-1 junto con la argumentación que cada uno de ellos aportó para su propuesta de límite de control, además, se les presentó la evolución de la cantidad de no conformidades en las historias clínicas en 2011 y 2012 - contenidos en el encabezado del anexo B.9 - de la Sanidad Policial lo cual según los tres especialistas marcó una gran diferencia respecto de la creencia realidad de los datos y demuestra la eficiencia en la aplicación del modelo.

A fin evitar consenso en las respuestas o unificación de criterios, ó evitar que sobre los auditores pese la concepción del problema que el más experimentado y líder de todos ellos tiene, este ejercicio se realizó el mismo día en el transcurso de dos horas.

5.5.1. Elicitación a mano alzada

La tercera y última ronda del proceso de elicitación es la usada como definitiva en el proceso de elicitación de la distribución a priori del parámetro y por facilidad se estimará los parámetros α y β de la distribución *Gamma* que es la conjugada de la *Poisson*. Para ello, se uso la función `fitdistr` del paquete MASS de R, para lo cual se debió hacer las mediciones de la altura de las opiniones de probabilidad de ocurrencia sobre la cantidad de no conformidades dibujadas por los especialistas, Los expertos opinaron como se muestra en la tabla 5-2.

Usando la distribución `fitdistr` del paquete MASS de R (Team 2013) se obtuvo las distribuciones de probabilidad para la gamma a priori propuesta por cada uno de los expertos presentadas en la tabla 5-3.

	Número de no conformidades										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Auditor 1	12,3	11,3	9,6	6,4	4,4	3,9	1,1	0	0	0	0
Auditor 2	6,4	7,8	9,2	8,2	7,4	6,5	o 5,7	4,2	2,9	1,6	0
Auditor 3	7,6	10,5	11	10,4	2,5	0	0	0	0	0	0

Tabla 5-2.: Mediciones de distribución a mano alzada de los auditores correspondiente a las figuras 5-3, 5-5 y 5-7. Los ceros de la tabla corresponden a valores de probabilidad $\epsilon \approx 0$ de ocurrencia

las figuras 5-3, 5-5 y 5-7 son la representación de las creencias de los auditores respecto a la probabilidad de ocurrencia de una historia clínica tenga 1, 2 o hasta 11 no conformidades de acuerdo con su experiencia y conocimientos al respecto, mientras que las figuras 5-4, 5-6 y 5-8, son la misma representación de esos saberes pero llevados a un paquete computacional que permite dar mejor visibilidad.

Nótese que el eje y de las figura 5-3, 5-5 y 5-7 no tienen escala alguna, eso fue hecho adrede con la finalidad de no perturbar la noción de probabilidad que cada auditor tiene en su cerebro, y más bien permitirle expresar su idea de la probabilidad de ocurrencia de cada evento.

El Eje x se refiere al número de no conformidades presentadas en una historia clínica, como se mencionó antes, el número máximo es 11.

Parámetro	α	β
Auditor 1	2,9609640	1,0477256
Auditor 2	3,02841630	0,6798596
Auditor 3	4,74110110	1,7240356

Tabla 5-3.: Parámetros de la distribución a priori correspondientes a la elicitación a mano alzada proveniente de cada auditor.

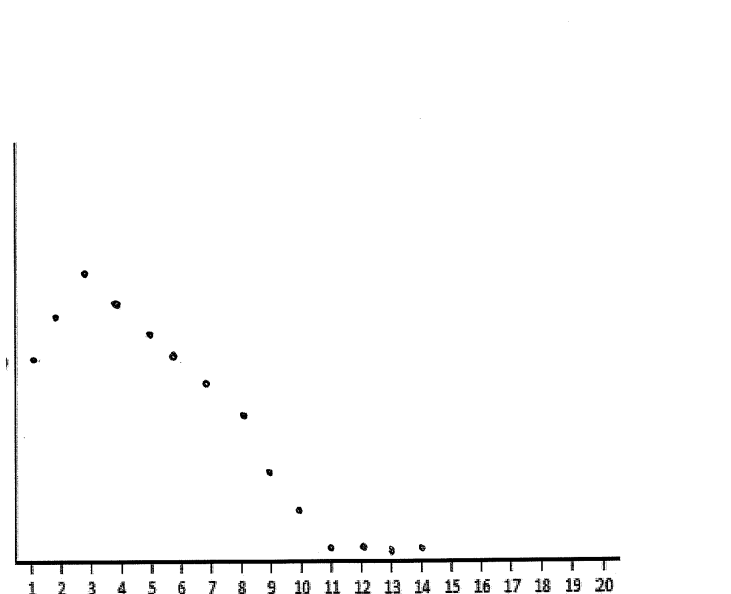


Figura 5-3.: Elicitación a mano alzada del Auditor 1 que describe la probabilidad subjetiva que para el tiene la ocurrencia de un número promedio de no conformidades por historia clínica

El auditor 1 cuyo conocimiento es expresado a través de la figura 5-3 es el de mayor experiencia profesional, habiendo sido además gerente de clínica y responsable del departamento médico de algunas clínicas en Valledupar, este asigna una distribución de probabilidad sesga-

da a la derecha con un punto máximo de probabilidad para 3 disconformidades en promedio por historia clínica.

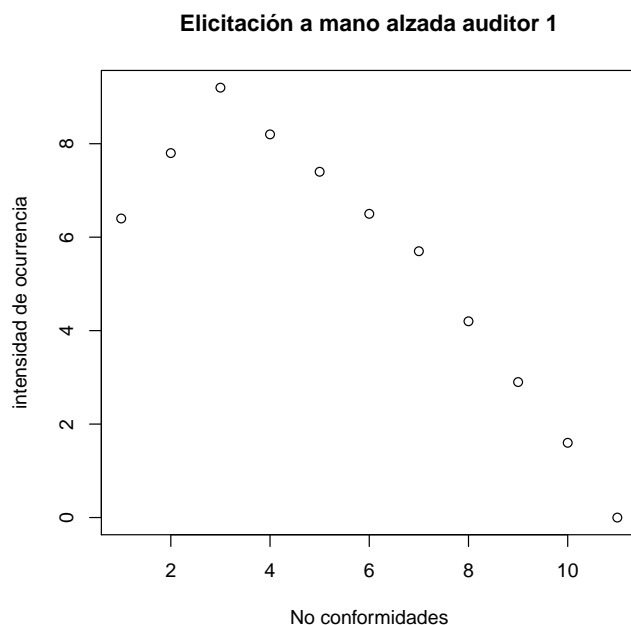


Figura 5-4.: Elicitación a mano alzada del Auditor 1

El auditor 2 quien plasma su conocimiento y experticia a través de la figura **5-5**, es el auditor con menor experiencia profesional con apenas 6 meses de experiencia en el área, a la fecha es el responsable de auditar las historias clínicas mas estandarizadas como lo son las de consulta externa, las cuales son en general afectadas en su calidad solo por causas asignables poco comunes como caídas de corriente o del sistema de información, es notable como la probabilidad asignada a no conformidades es bien definida hacia valores pequeños de no disconformidades.

El auditor 3 tiene toda su experiencia como auditor en la valoración de calidad de historias clínicas, es notable en este auditor que su representación de la probabilidad de ocurrencia para número de disconformidades promedio por historia clínica **5-7** es bien cercada a los datos recolectados.

Puede notarse diferencias llamativas entre auditores, particularmente el auditor 2 hace una representación de probabilidad bien distinta a las otras dos, con probabilidad siempre decreciente en relación con el número promedio de disconformidades; esto es, sin excepción, a mayor número promedio de disconformidades, el la probabilidad de que ocurra es inferior. No ocurre lo mismo con los otros dos auditores quienes presentan al 3 como el número promedio de disconformidades por historia clínica mas probable de ocurrencia.

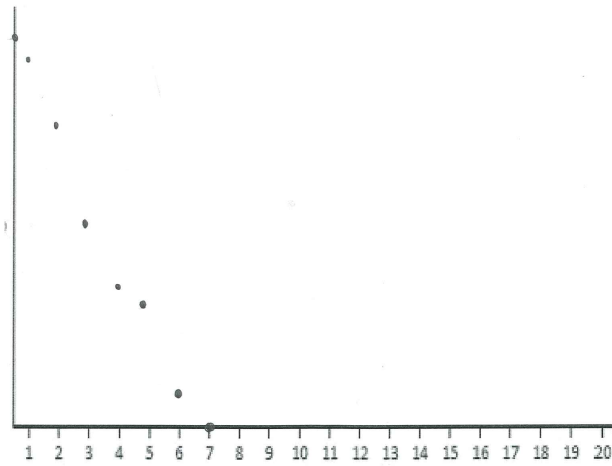


Figura 5-5.: Elicitación a mano alzada del Auditor 2 que describe la probabilidad subjetiva que para el tiene la ocurrencia de un número promedio de no conformidades por historia clínica

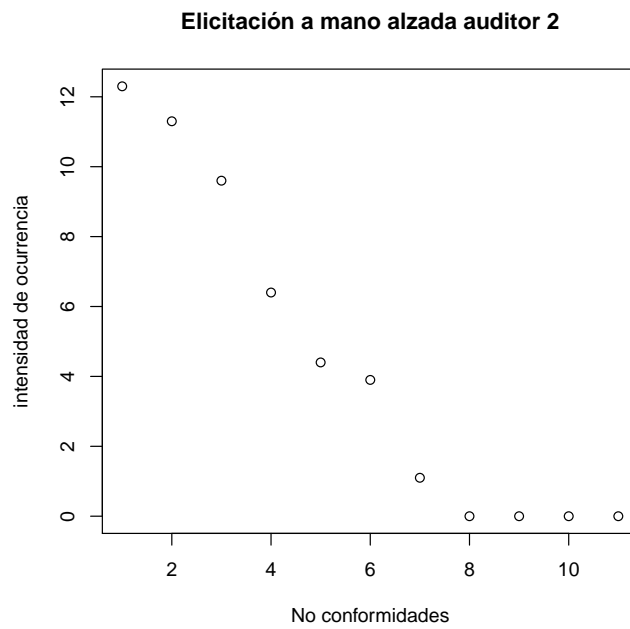


Figura 5-6.: Elicitación a mano alzada del Auditor 2

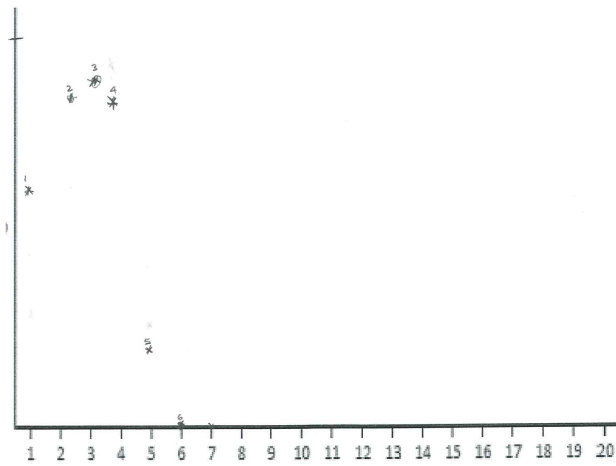


Figura 5-7.: Elicitación a mano alzada del Auditor 3 que describe la probabilidad subjetiva que para el tiene la ocurrencia de un número promedio de no conformidades por historia clínica

Ahora tenemos tres distribuciones de probabilidad a priori, por tanto debemos establecer y ejecutar una técnica que permita unificar de alguna forma estas distribuciones para obtener tan solo una que contenga la información proveniente de los tres expertos.

Clement & Winkler (1997) y Albert, Donnet, Guihenneuc, Low, Mengersen & Rousseau (2012) discuten algunos métodos de combinación de distribuciones de probabilidad matemáticos,

- Un enfoque atractivo para la agregación de distribución de probabilidad es la mezcla de la opinión lineal (Clement & Winkler 1997):

$$p(\theta) = \sum_{i=1}^n w_i p_i(\theta) \quad (5-1)$$

donde n es el número de expertos, $p_i(\theta)$ representa la distribución del experto i -ésimo para la variable θ , $p(\theta)$ representa la distribución de probabilidad combinada, y w_i representa los pesos y suman 1.

- Otra aproximación allí propuesta es el promedio multiplicativo que el llamado algunas veces mezcla de opinión logarítmico. La distribución de probabilidad combinada es de la forma.

$$p(\theta) = k \prod_{i=1}^n p_i(\theta)^{w_i}$$

donde k es una constante normalizada y los pesos w_i satisfacen algunas restricciones para asegurarse que $p(\theta)$ es una distribución de probabilidad.

- Aproximación bayesiana. Algunos autores coinciden en que para una situación de análisis en que un grupo de expertos proporcionan información para la toma de una decisión, un esquema de actualización bayesiano es el método más apropiado (Clement & Winkler 1997) provee una forma bayesiana para pensar acerca de la combinación de información y caminos para acceder a diferentes pesos. Si n expertos proporcionan información g_1, g_2, \dots, g_n para la toma de decisiones sobre alguna cantidad de interés θ , podría usar el Teorema de Bayes para actualizar la distribución $p(\theta)$.

$$p^* = p(\theta|g_1, g_2, \dots, g_n) = \frac{p(\theta)L(g_1, g_2, \dots, g_n|\theta)}{p(g_1, g_2, \dots, g_n)} \quad (5-2)$$

Para resolver este problema usaremos la instrucción *gammamixEM* del paquete *mixtools* (Benaglia, Chauveau, Hunter & Young 2009) que resuelve esta situación a través de la mezcla ponderada (ponderación que define el analista) de las distribuciones a mezclar a través en este caso del algoritmo EM.

Se generaron doscientos datos de cada una de las distribuciones antes descritas y a través de la instrucción `gammaMixEM` del paquete `mixtools` de R, se obtuvo una distribución de probabilidad a priori para el número promedio de no conformidades por historia clínica en la sanidad policial.

El resultado de este ejercicio son los parámetros presentados en la tabla 5-4 para la distribución mezclada a priori con una ponderación igual para cada uno de los profesionales que participaron en el proceso.

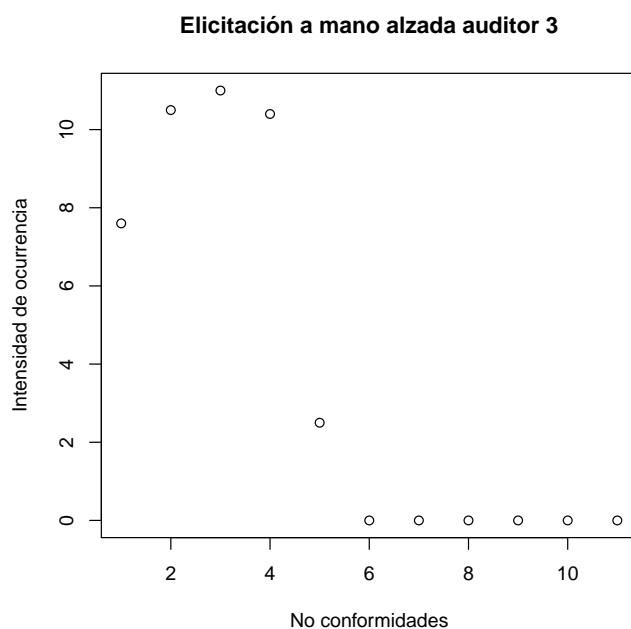


Figura 5-8.: Elicitación a mano alzada del Auditor 3

El figura 5-9 permite observar la distribución de probabilidad a priori para el número de no conformidades en las historias clínicas de acuerdo con las opiniones de los auditores responsables de estudiar este asunto en la sanidad policial. El programa usado para la obtención de las distribuciones a priori por auditor, la distribución mezclada y el histograma de frecuencias se encuentra en el anexo B.6

α	β
3,01470043	0,90860298

Tabla 5-4.: Parámetros de la distribución muestral $\text{Gamma}(\text{no conformidades}|\alpha,\beta)$

Hemos supuesto que la variable de interés tiene una distribución Poisson y como se ha dicho, la escogencia obvia para la priori del parámetro λ de ésta es una distribución *Gamma*, la

cual a partir de la ponderación que gráficamente se muestra en la figura **5-9**, tiene como parámetros los presentados en la tabla **5-4**

Es importante notar que para nuestro proceso, el parámetro λ está indexado por i ya que no se supone que es un efecto fijo constante en su impacto en los datos. En su lugar, ahora estamos afirmando que λ varía en los datos, y es por lo tanto un efecto aleatorio cuya distribución aquí se supone que es $\Gamma(\alpha, \beta)$ (Albert 2007). Esta es fundamentalmente una nueva idea para los tipos de modelos de cartas de control tradicionales.

En general la representación del modelo es:

$$\begin{aligned} y_i &\sim \text{Poisson}(\lambda) \\ \lambda_i &\sim \text{Gamma}(\alpha, \beta) \end{aligned}$$

El paso siguiente es la construcción de la distribución predictiva a posteriori usando el método propuesto en la sección 2.4.3, y desde luego construir la gráfica de control bayesiana con base en la construcción realizada con el grupo de auditores a través del proceso de elicitación propuesto que se presenta en la figura **5-10**. El algoritmo que permite esta construcción se encuentra en el anexo B.9.

La distribución predictiva a posteriori es la siguiente:

$$\begin{aligned} p(x_{new}|x) &= \int_0^{\infty} p(x_{new}|\lambda)p(\lambda|x)d\lambda \\ &= \int_0^{\infty} \left[\frac{\lambda^{x_{new}} e^{-\lambda}}{x_{new}!} \right] \left[\frac{(n+\beta)^{\sum x_i + \alpha}}{\Gamma(\sum x_i + \alpha)} \lambda^{\sum x_i + \alpha - 1} e^{-(n+\beta)\lambda} \right] d\lambda \\ &= \frac{(n+\beta)^{\sum x_i + \alpha}}{\Gamma(\sum x_i + \alpha)\Gamma(x_{new}+1)} \int_0^{\infty} \lambda^{x_{new} + \sum x_i + \alpha - 1} e^{-(n+\beta+1)\lambda} d\lambda \quad (5-3) \\ &= \frac{(n+\beta)^{\sum x_i + \alpha}}{\Gamma(\sum x_i + \alpha)\Gamma(x_{new}+1)} \frac{\Gamma(x_{new} + \sum x_i + \alpha)}{(n+\beta+1)^{x_{new} + \sum x_i + \alpha}} \\ &= \frac{\Gamma(x_{new} + \sum x_i + \alpha)}{\Gamma(\sum x_i + \alpha)\Gamma(x_{new}+1)} \left(\frac{n+\beta}{n+\beta+1} \right)^{\sum x_i + \alpha} \left(\frac{1}{n+\beta+1} \right)^{x_{new}} \end{aligned}$$

Esta distribución predictiva a posteriori termina siendo una Binomial-negativa con media $\frac{\sum x_i + \alpha}{n+\beta}$ y varianza $\frac{\sum x_i + \alpha}{(n+\beta)^2} (n+\beta+1)$ (Gill 2002).

Nótese que para la figura **5-10** se encuentra una observación por fuera de los límites de control, tal observación fue investigada encontrándose que corresponde a uno de los médicos recientemente contratados - Esta vez con urgencia - que no recibió toda la capacitación que corresponde para el uso del software de historias clínicas.

Para mejor ilustración, se presenta a continuación la carta de control clásica con la misma observación fuera de control además de muchas otras.

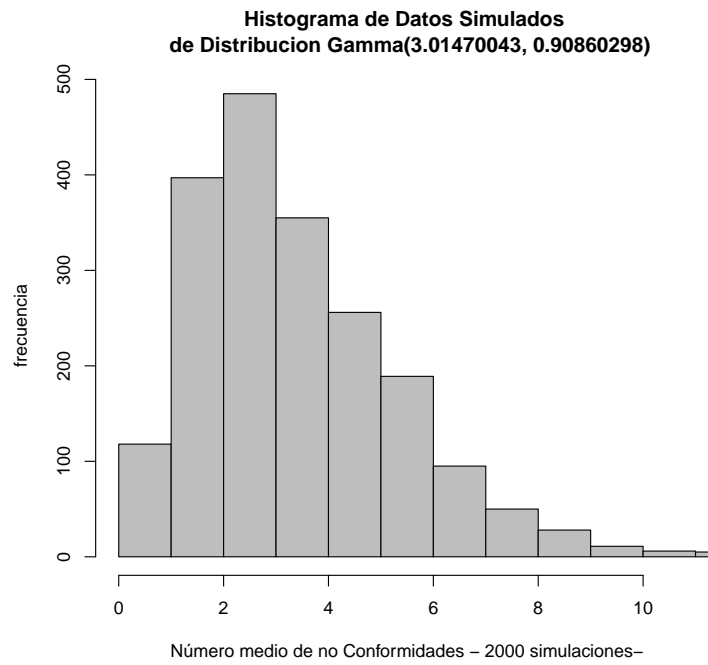


Figura 5-9.: Distribución muestral mezclada

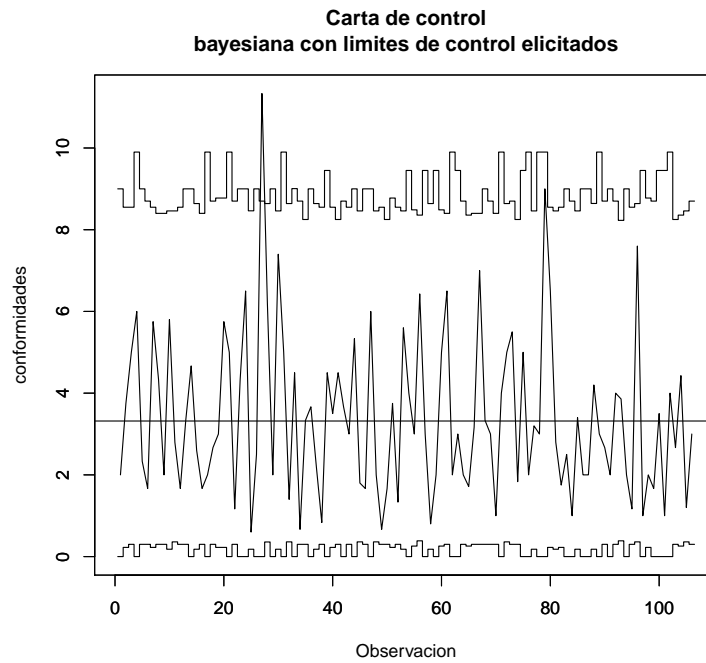


Figura 5-10.: Carta de control con límites de control elicitada

La figura 5-11 presenta la carta de control clásica, la cual muestra considerables diferencias con la carta de control bayesiana en sus límites de control, puede verse que estos presentan una mayor variabilidad, además de estar más cercanos al proceso bajo control, lo que provocará un número superior de alarmas a ser estudiadas como es claro en la ilustración. Revisado esto, con la convicción que esta observación fuera de control de la carta de control bayesiana con límites elicitados corresponde a una causa asignable del proceso, se procedió a retirarla del conjunto de datos y recalcular nuevamente los parámetros de la carta de control, tal resultado se presenta en la figura 5-12.

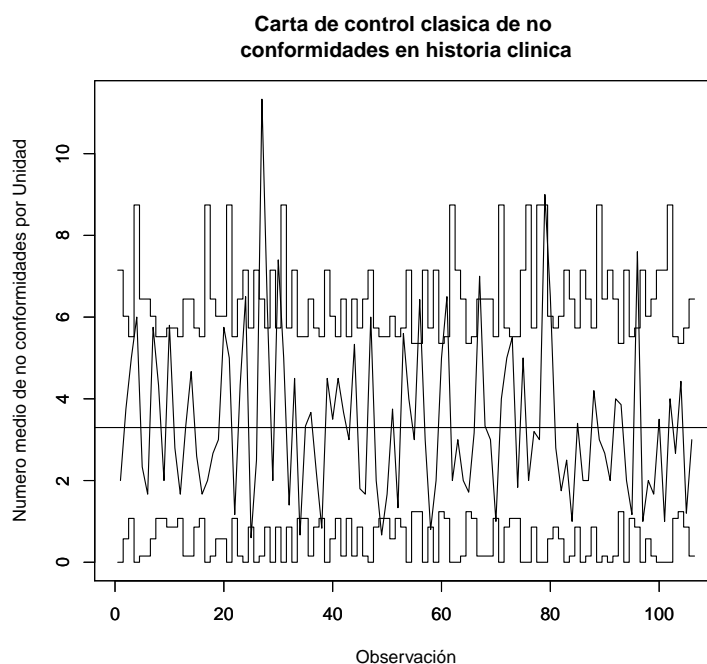


Figura 5-11.: Carta de control clásica para el número medio de no conformidades por historia clínica

El resultado es una carta de control con límites de control producidos a partir de los datos históricos y la opinión de los expertos que han sido ilustrados a profundidad en el indicador *número medio de no conformidades en las historias clínicas auditadas en la sanidad policial.*, habiendo ejecutado un procedimiento de ilustración conjunta con los demás expertos en un proceso Delphi y por último se puso en papel sus creencias a través de la técnica *a mano alzada*.

Es conveniente también ilustrar el resultado que se obtendría con estos datos en caso de no usar el proceso de elicitación bayesiano. El resultado se presenta en la figura ??.

Resulta evidente la diferencia entre ambas cartas de control, en esta última, nos encontramos con unos límites de control suficientemente estrechos como para que una gran cantidad de

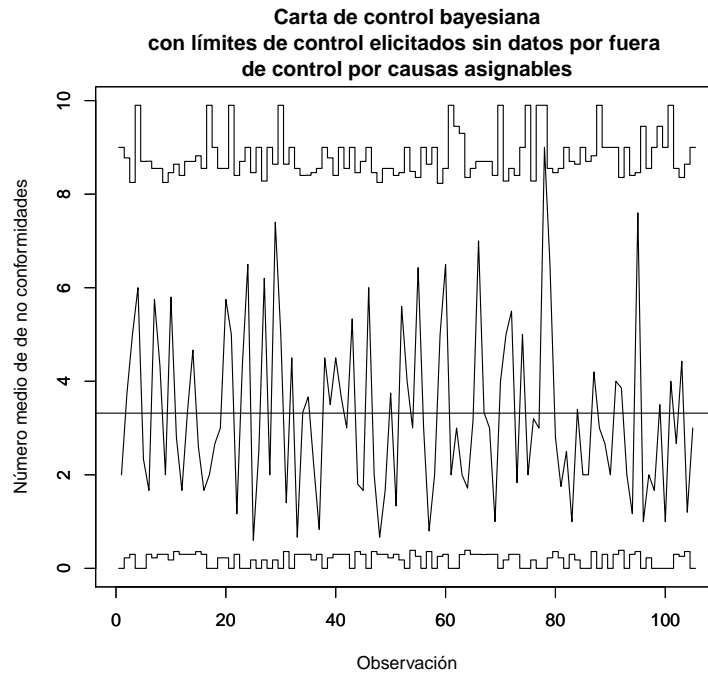


Figura 5-12.: Carta de control con límites de control elicitada revisada

observaciones estén por fuera de los límites de control hallados con el método clásico, esto es, si se estudia de la forma tradicional, estaríamos en frente de un proceso con escasa capacidad y con una carta de control que serviría de muy poco para la labor de control.

El proceso de control, resulta fácil de actualizar en el caso bayesiano además de convertirse en una herramienta verdaderamente útil en la etapa de verificación del proceso, aunque, como se mostró desde el capítulo 2, las cartas de control bayesianas no requieren de la etapa I de construcción de una carta de control según el procedimiento clásico.

En este trabajo no se ha medido algunas características de la carta de control bayesiana en contraste con la clásica tales como la medición del ARL que da luz sobre la capacidad del proceso, lo cual se considera en los temas futuros de investigación.

6. Conclusiones

- La aplicación del proceso Ishikawa para dar información a los expertos del fenómeno bajo estudio, aporta de manera sustancial argumentos para la toma de decisiones por parte de los expertos inmersos en el proceso de elicitación, lo cual se convierte en un aporte al mejoramiento del proceso de elicitación.
- Se observa del proceso Ishikawa, como existe un agrupamiento en las respuestas sobre la variable de interés; este agrupamiento parece obedecer al nivel jerárquico en que se encuentra el profesional en la organización; de hecho, a medida que la jerarquía aumenta, parece que el experto prefiere tolerar una cifras más pequeñas de no conformidades en las historias clínicas.
- El método Delphi, aunque simple en su concepción, aporta más que claridad a los expertos y al coordinador del proceso sobre la variable que se está tratando; sin embargo, se notó que no siempre los expertos, lo son en el concepto específico bajo estudio, por lo que en esta tesis, se les aporta a través del proceso Ishikawa información adicional sobre el entorno del tema a estudiar, que de hecho, no solo los informa, sino que les siembra la semilla de conocimiento de la variable de interés tanto como de las decisiones y el impacto que esta genera en el ambiente en que se estudia.

Esto, de hecho, puede considerarse un aporte adicional al método, pues agrega no solo información del proceso, sino también del entorno en que la variable de interés tendrá un efecto o del cual se ve afectada como fue en nuestro caso.

- La aplicación de una herramienta como una carta de control, la cual es típicamente usada en procesos estandarizados industriales y regularmente controlados, en ambientes tan etéreos y difíciles de predecir como los sociales, aporta decisivamente en la toma de decisiones basadas en evidencia que a la postre redundarán en optimización de los procesos de interés.
- Hay una gran consistencia en las opiniones de los expertos cuando se pasa de la etapa de colección de datos generalizada al momento en que se les indaga solo a tres expertos a quienes se les da información procedente de los dueños del proceso de registro en las historias clínicas o se les informa de las consecuencias jurídicas que implica su incompleto o incorrecto diligenciamiento.

- La escogencia del proceso de elicitación adecuado puede llegar a ser bastante compleja, sin embargo, sin importar el método, si es bien usado, aportará información a todas luces valiosa para la definición y el control de un proceso, ya sea este industrial o social como es nuestro caso.
- La formulación de las preguntas de los cuestionarios no resultó ser trivial en absoluto, este es un tema bastante destacado en este proceso de investigación, pues con frecuencia se incurrió en reprocesos que costaron mucho tiempo sin resultados necesariamente contundentes.

7. Trabajo Futuro

- Ha de estudiarse el proceso de jerarquización o agrupamiento de las respuestas por grupos claramente diferenciables de los especialistas intervinientes en el proceso de investigación.
- El contraste de la calidad de los límites de control de la carta bayesiana ha de estudiarse en relación con otros métodos de control, tanto de límites fijos, como variables tal como la carta CUSUM o EWMA.
- Las distribuciones de probabilidad de la variable respuesta ofrecida por cada experto pueden ser mezcladas a través de diversos métodos, algunos de estos métodos fueron referenciados en el capítulo 2, se hace por tanto pertinente evaluar la calidad de los resultados a la luz de estos.
- Una forma alternativa de observar los puntos fuera de control en la carta de control bayesiana es darles tratamiento de outliers, este tema es desarrollado ampliamente en Morcillo, F. & L. (2006) y Pettit (1987) lo cual se corresponde con un tema potencial de investigación.
- Revisar la construcción de gráficos de control por demeritos a través de la metodología bayesiana desarrollada

A. Anexo: Herramientas de Captura y Resultados

A.1. Diagrama Causa - Efecto

```
cause.and.effect(  
cause=list  
(Integralidad=c("Acciones de P y P", "Diagnósticos",  
"Tratamientos", "Rehabilitación"),  
secuencialidad=c("Cronológica"),  
Racionalidad=c("Px Lógicos y Completos",  
"Condición de Salud", "Dx Post Tratamiento"),  
Disponibilidad=c("Cuando se Necesita"),  
Oportunidad=c("Registros durante Atención",  
"Inmediatamente Despues del Servicio"),  
effect="Calidad Historia",  
title = "Diagrama Causa Efecto Calidad Historia Clínica"))
```

A.2. Cuestionario No 1 - Proceso Ishikawa

Para pocos miembros de la clínica de la Policía es desconocida la criticidad que la problemática de la calidad de los registros de las atenciones clínicas en razón de la cantidad de derechos de petición, demandas y tutelas que se presentan a la institución por diferentes razones, para cuya defensa no queda más que la revisión de las atenciones en la registro único que se debe tener para tal fin que es la Historia Clínica.

Bajo este supuesto, se pretende definir una cota para la determinación del momento de alerta para los programas de mejoramiento de la calidad de los registros en Historia clínica. Para esto encontramos necesario valorar las condiciones que hoy presenta el proceso de registro a la luz de la normatividad que regula este aspecto, en este caso la resolución 1995 de 1999. Para ello requerimos que como interviniente en el proceso de atención de estos usuarios, nos responda algunas preguntas que permitirán el objetivo.

El Ministerio de Protección Social a través de la Resolución 1995 de 1999 definió como características de calidad de los registros clínicos los siguientes:

Integralidad: La historia clínica de un usuario debe reunir la información de los aspectos científicos, técnicos y administrativos relativos a la atención en salud en las fases de fomento, promoción de la salud, prevención específica, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de la enfermedad, abordándolo como un todo en sus aspectos biológico, psicológico y social, e interrelacionado con sus dimensiones personal, familiar y comunitaria.

Secuencialidad: Los registros de la prestación de los servicios en salud deben consignarse en la secuencia cronológica en que ocurrió la atención. Desde el punto de vista archivístico la historia clínica es un expediente que de manera cronológica debe acumular documentos relativos a la prestación de servicios de salud brindados al usuario.

Racionalidad científica: Es la aplicación de criterios científicos en el diligenciamiento y registro de las acciones en salud brindadas a un usuario, de modo que evidencie en forma lógica, clara y completa, el procedimiento que se realizó en la investigación de las condiciones de salud del paciente, diagnóstico y plan de manejo.

Disponibilidad: Es la posibilidad de utilizar la historia clínica en el momento en que se necesita, con las limitaciones que impone la Ley.

Oportunidad: Es el diligenciamiento de los registros de atención de la historia clínica, simultánea o inmediatamente después de que ocurre la prestación del servicio.

Ahora que tiene conocimiento de las definiciones de cada uno de los criterios de calidad evaluables en la atención en salud, por favor diligencie el formato **A-1** basado en su conocimiento y experiencia en la clínica de la Policía después de leer la siguiente instrucción.

Los resultados que usted consigne en tal formato serán puestos en consideración de los demás auditores de la clínica y a usted se le presentarán las respuestas de ellos para con esto formarse una idea completa y conjunta del estado del arte de los procesos en cuanto al adecuado registro en la historia clínica que posibilita lograr los resultados que hoy tenemos. Es importante resaltar que esta es la primera parte del estudio que se quiere hacer para la construcción de los límites de control de la carta correspondiente al número de defectos por historia clínica permisible para los profesionales de la salud en la institución, y se constituye en un marco de referencia para valorar mejor los resultados que usted mide a diario.

- Asigne el peso entre cero y cinco de ponderación que desde su experiencia y conocimiento tienen cada característica de calidad en razón a la importancia que usted ve en ellas
- Haga lo mismo del ítem anterior. con cada uno de los determinantes de calidad.
- Por último, asigne una calificación a la clínica de la Policía en cuanto a cada uno de los determinantes de calidad en la misma escala, en razón a lo que desde su vivencia se refleja en la atención en la sanidad policial.

A.3. Cuestionario 2

Como fue mencionado en el proceso de valoración de las características de calidad del proceso de registro en historias clínicas, el Ministerio de Protección Social a través de la Resolución 1995 de 1999 definió como características de calidad de los registros clínicos a la integralidad, secuencialidad, racionalidad, disponibilidad y oportunidad, en la tabla **A-1** se presentan los resultados obtenidos como una construcción colectiva de los tres auditores de historias clínicas.

Indicador	Calificación	Relevancia
Integralidad	3.9	4
Secuencialidad	3.6	4.8
Racionalidad	4	4.3
Disponibilidad	4.1	5
Oportunidad	4	3.5

Tabla A-1.: Calificación por expertos de indicadores de calidad en la sanidad policial

La idea es que esta información le sirva como referente para determinar cuál es un nivel de calidad aceptable para las historias clínicas en virtud de su importancia y la calificación que tales condiciones puede obtener el proceso de registro, aspectos que en general dependen más de la institución que del mismo galeno, pero que sí afectan sus resultados. Con este panorama, estamos interesados en que nos conteste las siguientes interrogantes:

1. ¿Qué tan conocedor es usted del proceso de atención? por favor responda con un número entre cero y cinco.
2. ¿Es importante para usted la generación de alertas tempranas en cuanto a incremento o disminución considerable de la cantidad de no conformidades en las historias clínicas? Responda sí o no.

Un nivel elevado en el número de defectos por historia clínica representaría la generación de una alerta a todo nivel, desde la gerencia hasta los programas de promoción y mantenimiento de la salud a fin de que todos los pacientes sean no solo atendidos, sino para que se haga un correcto diagnóstico y tratamiento; de otro lado, bajas cantidades de defectos en las historias clínicas podrían ser una alerta en cuanto al no seguimiento de los protocolos de auditoría, omisión o reticencia por parte de los profesionales en hacer el correspondiente registro completo en historia clínica con las posibles complicaciones jurídicas que le puede representar al galeno y a la institución.

3. Con esta perspectiva, ¿una cantidad de no conformidades por historia que considera superior a lo deseado es?

Responda con base a los criterios que su proceso usa para la evaluación de las historias clínicas.

4. ¿Qué probabilidad asignaría a que un profesional de la salud tenga más de ese número de no conformidades en sus historias clínicas?
5. ¿Cuántas no conformidades considera natural que un profesional de la salud presente bajo condiciones ideales de infraestructura, equipos y tecnología?
6. ¿Dadas las condiciones evaluadas en el primer cuestionario considera que los profesionales en la clínica tienen las condiciones necesarias para cumplir con los requerimientos del Ministerio de Protección Social para el adecuado registro en la historia clínica?
7. ¿Basado en esta última respuesta, le pregunto nuevamente cual es un número de no conformidades por historia clínica que usted considera limite máximo para generar una alerta en la clínica de la Policía?

y

8. ¿Qué probabilidad asigna a que un profesional bajo las condiciones de la clínica de la Policía tenga esa cantidad de no conformidades o mas?
de nuevo, revalorada esta cota, vale la pena pensar de nuevo,
9. ¿cuál sería una cantidad de no conformidades natural para los profesionales de la salud en la Policía?
10. ¿Cuándo considerará sospechosamente bajo el número de no conformidades reportadas por un profesional bajo las condiciones actuales del Subsistema de Salud de la Policía?
11. ¿Qué probabilidad asignará a que una evaluación de auditoria arrojará ese número o menos de no conformidades?
12. ¿Ésta probabilidad es similar a la de la cota superior?
De no serlo, ¿es la diferencia entre estas dos probabilidades significativa para usted?
13. ¿Qué tan diferentes? de un número entre 0 y 1

En este orden de ideas, en la figura siguiente, pinte una X el cruce entre el número de no conformidades por historia clínica y la que usted considera el nivel de su creencia en que ese evento ocurra.

No dude en corregir cuando desee su respuesta a cualquiera de las preguntas antes formuladas, de hecho si lo hace es posible que nos acerquemos mas a la realidad de sus pensamientos al respecto por un mas profundo proceso de reflexión sobre el problema.

La figura **A-2** permitirá construir en conjunto y en base a las preguntas anteriores, una ilustración de sus pensamientos que permitirá acercar al investigador a una mejor interpretación de sus respuestas.

Una vez hecho esto, trace una línea vertical sobre el número de no conformidades que considera tope mínimo para generar una alarma en caso de que ocurriera.

Para responder esta pregunta, por favor use la figura **A-2** escuchando previamente las instrucciones del encuestador.

Trace una línea sobre el nivel máximo de no conformidades por historia clínica que usted consideraría llamativo o de alerta en relación con la citada tasa.

Agradezco su atención y ayuda en este ejercicio investigativo, una vez se tengan resultados concretos se le darán a conocer.

Característica de calidad	Peso asignado por Auditor 1	Determinación de la característica de calidad	Auditor 1	
			Peso del Determinante	Calificación
Integralidad		La H.C. Permite registrar las acciones de fomento de la salud		
		La H.C. Permite registrar las acciones de Promoción de la Salud y Prevención de la Enfermedad.		
		La H.C. Permite registrar las acciones de Prevención Específica		
		La H.C. Permite registrar los Diagnósticos		
		La H.C. Permite registrar los tratamientos		
		La H.C. Permite registrar las acciones de rehabilitación		
Secuencialidad		La H.C. De los pacientes se presenta en forma cronológica para el Médico		
Racionalidad Científica		La H.C. Permite hacer los registros en forma lógica y completa de los Procedimientos		
		La H.C. Permite hacer los registros en forma lógica y completa de las condiciones de salud del paciente		
		La H.C. Permite hacer los registros en forma lógica y completa de los diagnósticos posteriores al plan de manejo		
Disponibilidad		Los procesos de la Clínica permiten disponer de la H.C. Cuando se necesita		
Oportunidad		Los procesos permiten registrar simultáneamente con el servicio		
		Los procesos permiten registrar inmediatamente después de que ocurre el servicio		

Figura A-1.: Cuestionario No 1 - Ishikawa

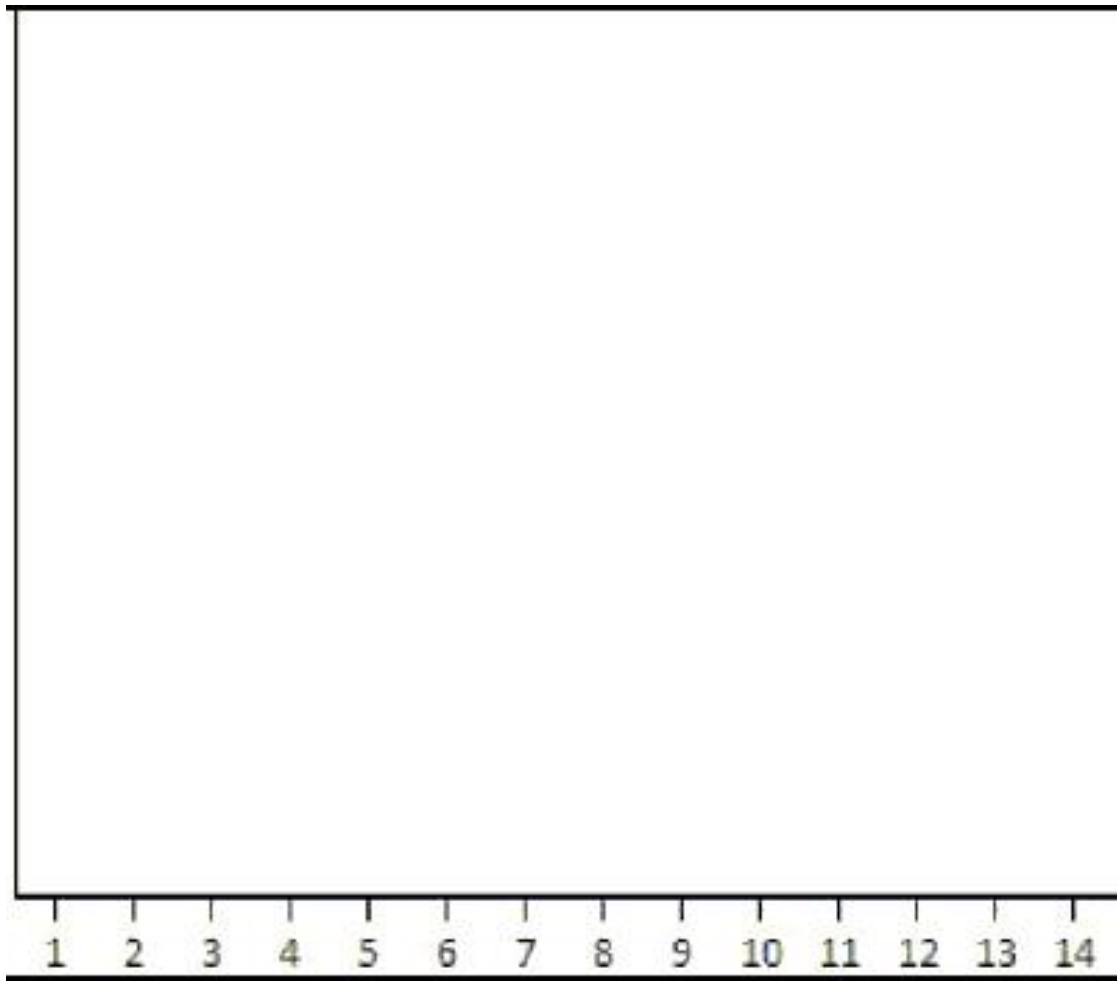


Figura A-2.: Elcitación a mano alzada de la distribución de la media de no conformidades en las historias clínicas de la sanidad policial y de los límites de control

B. Anexo: Algoritmos de Cartas de Control

B.1. Carta de control u Método Frecuentista

```
y<-c(14,12,20,11,40,10,21,16,19,23)
ni<-c(10,8,13,10,9.5,10,12,10.5,12,12.5)
k<-length(y)
ub<-sum(y)/sum(ni)
u<-y/ni
lcs<-ub+3*(ub/ni)^(.5)
lci<-ub-3*(ub/ni)^(.5)
for(i in 1:k){lci[i]<-max(0,lci[i])}
y.lim<-c(0,max(max(lcs),max(u))*1.10)
plot(1:(k+1),c(lcs,lcs[k]),
ylim=y.lim, xlab="", ylab="", type="n")
plot((1:(k+1))-.5, c(lcs,lcs[k]),
ylim=y.lim, xlab="", ylab="", type="s")
par(new=T)
plot((1:(k+1))-.5, c(lci,lci[k]),
ylim=y.lim, xlab="Observaci'on",
ylab="Disconformidades por Unidad", type="s")
par(new=T)
lines(1:k,u)
for(i in 1:k){abline(v=i, lty=3)}
abline(h=ub)
cat("media de u: ", ub, "\n")
```

B.2. Carta de control u Método Frecuentista en periodo base sin datos fuera de control

```
y<-c(14,12,20,11,10,21,16,19,23)
```

```

ni<-c(10,8,13,10,10,12,10.5,12,12.5)
k<-length(y)
ub<-sum(y)/sum(ni)
u<-y/ni
lcs<-ub+3*(ub/ni)^(.5)
lci<-ub-3*(ub/ni)^(.5)
for(i in 1:k){lci[i]<-max(0,lci[i])}
y.lim<-c(0,max(max(lcs),max(u))*1.10)
plot(1:(k+1),c(lcs,lcs[k]),
ylim=y.lim, xlab="", ylab="", type="n")
plot((1:(k+1))- .5, c(lcs,lcs[k]),
ylim=y.lim, xlab="", ylab="", type="s")
par(new=T)
plot((1:(k+1))- .5, c(lci,lci[k]),
ylim=y.lim, xlab="Observacion",
ylab="Disconformidades por Unidad", type="s")
par(new=T)
lines(1:k,u)
for(i in 1:k){abline(v=i, lty=3)}
abline(h=ub)
cat("media de u: ", ub, "\n")

```

B.3. Carta de control u Método Frecuentista Periodo de Verificación

```

y<-c(14,12,20,11,10,21,16,19,23)
ni<-c(10,8,13,10,10,12,10.5,12,12.5)
k<-length(y)
l<-sum(y)/sum(ni)
u<-y/ni #; u[k+1]<-u[k]
lcs<-l+3*(l/ni)^(.5)
lci<-l-3*(l/ni)^(.5)
for(i in 1:k){lci[i]<-max(0,lci[i])}
y.lim<-c(0,max(max(lcs),max(u))*1.10)
plot(1:(k+1),c(lcs,lcs[k]), ylim=
y.lim, xlab="", ylab="", type="n")
plot((1:(k+1))- .5, c(lcs,lcs[k]),
ylim=y.lim, xlab="", ylab="", type="s")

```

```

par(new=T)
plot((1:(k+1))-0.5, c(lci,lci[k]),
ylim=y.lim, xlab="Observacion",
ylab="Disconformidades por Unidad", type="s")
par(new=T)
lines(1:k,u)
for(i in 1:k){abline(v=i, lty=3)}
abline(h=1)
cat("media de u: ", ub, "\n")

```

B.4. Carta de control u Bayesiana periodo base sin corrección

```

y<-c(14,12,20,11,40,10,21,16,19,23)
ni<-c(10,8,13,10,9.5,10,12,10.5,12,12.5)
m<-10000
k<-length(y)
l<-sum(y)/sum(ni)
ab<-c(29.5,20.11)
u<-y/ni #; u[k+1]<-u[k]
lim.y<-matrix(0,ncol=k, nrow=4)
lim.u<-matrix(0,ncol=k, nrow=2)
for(i in 1:k){
l<-rgamma(m,ab[1],ab[2])
ys<-rpois(m,l*ni[i])
lim.y[1:2,i]<-quantile(ys,probs=c(0.0027/2,1-0.0027/2))
lim.y[3,i]<-sum(as.numeric(ys<lim.y[1,i]))/m
lim.y[4,i]<-sum(as.numeric(ys<lim.y[2,i]))/m
lim.u[1:2,i]<-lim.y[1:2,i]/ni[i]
}

axis.y<-c(0,max(max(lim.u[2,]),max(u))*1.1)
plot(1:(k+1),c(lim.u[2,],lim.u[2,k]),
ylim=axis.y, xlab="", ylab="", type="n")
plot((1:(k+1))-0.5, c(lim.u[2,],lim.u[2,k]),
ylim=axis.y,
xlab="",ylab="", type="s")
par(new=T)

```

```

plot((1:(k+1))-.5, c(lim.u[1,],lim.u[1,k]),
ylim=axis.y,
xlab="", ylab="", type="s")
par(new=T)
lines(1:k,u[1:k])
for(i in 1:k){abline(v=i,lty=3)}
#como linea central usamos E(u-1|a,b)
abline(h=ab[1]/ab[2])
lim.y
}

```

B.5. Carta de control u Bayesiana periodo de verificación

```

y<-c(14,12,20,11,10,21,16,19,23)
ni<-c(10,8,13,10,10,12,10.5,12,12.5)
m<-10000
k<-length(y)
l<-sum(y)/sum(ni)
ab<-c(29.5,20.11)
u<-y/ni #; u[k+1]<-u[k]
lim.y<-matrix(0,ncol=k, nrow=4)
lim.u<-matrix(0,ncol=k, nrow=2)
for(i in 1:k){
l<-rgamma(m,ab[1],ab[2])
ys<-rpois(m,l*ni[i])
lim.y[1:2,i]<-quantile(ys,probs=c(0.0027/2,1-0.0027/2))
lim.y[3,i]<-sum(as.numeric(ys<lim.y[1,i]))/m
lim.y[4,i]<-sum(as.numeric(ys<lim.y[2,i]))/m
lim.u[1:2,i]<-lim.y[1:2,i]/ni[i]
}
axis.y<-c(0,max(max(lim.u[2,]),max(u))*1.1)
plot(1:(k+1),c(lim.u[2,],lim.u[2,k]),
ylim=axis.y, xlab="", ylab="", type="n")
plot((1:(k+1))-.5, c(lim.u[2,],lim.u[2,k]),
ylim=axis.y,
xlab="",ylab="", type="s")
par(new=T)
plot((1:(k+1))-.5, c(lim.u[1,],lim.u[1,k]),
ylim=axis.y,

```

```
xlab="", ylab="", type="s")
par(new=T)
lines(1:k,u[1:k])
for(i in 1:k){abline(v=i,lty=3)}
#como linea central usamos E(u-1|a,b)
abline(h=ab[1]/ab[2])
lim.y
}
```

B.6. Distribución a priori - método a mano alzada

```
library(MASS)
aud1<-c(12.3,11.3,9.6,6.4,4.4,3.9,1.1,0,0,0,0)
aud2<-c(6.4,7.8,9.2,8.2,7.4,6.5,5.7,4.2,2.9,1.6,0)
aud3<-c(7.6,10.5,11,10.4,2.5,0,0,0,0,0,0)

aud1.def<-c(rep(1,aud1[1]),rep(2,aud1[2]),
rep(3,aud1[3]),rep(4,aud1[4]),
rep(5,aud1[5]),rep(6,aud1[6]),
rep(7,aud1[7]),rep(8,aud1[8]),
rep(9,aud1[9]),rep(10,aud1[10]),
rep(11,aud1[11]))

aud2.def<-c(rep(1,aud2[1]),rep(2,aud2[2]),
rep(3,aud2[3]),rep(4,aud2[4]),
rep(5,aud2[5]),rep(6,aud2[6]),
rep(7,aud2[7]),rep(8,aud2[8]),
rep(9,aud2[9]),rep(10,aud2[10]),
rep(11,aud2[11]))

aud3.def<-c(rep(1,aud3[1]),rep(2,aud3[2]),
rep(3,aud3[3]),rep(4,aud3[4]),
rep(5,aud3[5]),rep(6,aud3[6]),
rep(7,aud3[7]),rep(8,aud3[8]),
rep(9,aud3[9]),rep(10,aud3[10]),
rep(11,aud3[11]))

ajuste.aud1<-fitdistr(aud1.def,"gamma")
```



```
ajuste.aud2<-fitdistr(aud2.def,"gamma")
ajuste.aud3<-fitdistr(aud3.def,"gamma")

ajuste.aud1
ajuste.aud2
ajuste.aud3

library(mixtools)

Data<-c(rgamma(200, shape = 2.9609640, scale = 1.0477256),
rgamma(200, shape = 3.0284630, scale = 0.6798596 ),
rgamma(200, shape = 4.7411010 , scale =1.7240356 ))

out<-gammamixEM ( Data, lambda=c(1,1,1)/3,verb=TRUE)
out[2:4]

require(grDevices)

r1 <- plot(aud1, main="Elicitacion a mano alzada auditor 1",
xlab="No conformidades", ylab="intensidad de ocurrencia")

r2 <- plot(aud2,main="Elicitacion a mano alzada auditor 2",
xlab="No conformidades", ylab="intensidad de ocurrencia")

r3 <- plot(aud3,main="Elicitacion a mano alzada auditor 3",
xlab="No conformidades", ylab="Intensidad de ocurrencia")

Data2<-c(rgamma(200, shape = 1.80000034 , scale = 0.40846125))
hist(Data2)
```

B.7. Carta de control bayesiana en el periodo de verificación para las no conformidades en las historias clínicas

```
y<-c(4,15,30,6,7,5,23,26,12,29,14,10,10,14,13,
10,2,8,12,23,5,7,13,13,3,5,34,31,4,37,5,7,9,4,
```

```

20,11,11,5,9,14,27,11,18,16,9,5,12,10,4,10,15,
8,28,8,21,45,6,4,4,35,39,2,6,6,12,19,21,10,9,
6,4,25,33,11,10,2,16,3,9,26,14,7,5,3,17,4,6,
21,3,8,4,12,27,4,7,38,2,8,5,7,2,4,16,31,6,9)
ni<-c(2,4,6,1,3,3,4,6,6,5,5,6,3,3,5,6,1,3,4,
4,1,6,3,2,5,2,3,5,2,5,1,5,2,6,6,3,5,6,2,4,6,
3,6,3,5,3,2,5,6,6,4,6,5,2,7,7,2,5,2,7,6,1,2,
3,7,6,3,3,3,6,1,5,6,6,2,1,5,1,1,4,5,4,2,3,5,
2,3,5,1,3,2,3,7,2,6,5,2,4,3,2,2,1,6,7,5,3)
m<-10000
k<-length(y)
l<-sum(y)/sum(ni)
ab<-c(3.01470043,0.90860298)
u<-y/ni #; u[k+1]<-u[k]
lim.y<-matrix(0,ncol=k, nrow=4)
lim.u<-matrix(0,ncol=k, nrow=2)
for(i in 1:k){
l<-rgamma(m,ab[1],ab[2])
ys<-rpois(m,l*ni[i])
lim.y[1:2,i]<-quantile(ys,probs=c(0.025/2,1-0.025/2))*0.9
lim.y[3,i]<-sum(as.numeric(ys<lim.y[1,i]))/m
lim.y[4,i]<-sum(as.numeric(ys<lim.y[2,i]))/m
lim.u[1:2,i]<-lim.y[1:2,i]/ni[i]
}
axis.y<-c(0,max(max(lim.u[2,]),max(u)))
plot(1:(k+1),c(lim.u[2,],lim.u[2,k]),
ylim=axis.y, xlab="", ylab="", type="n")
plot((1:(k+1))-0.5, c(lim.u[2,],lim.u[2,k]),
ylim=axis.y,
xlab="",ylab="", type="s")
par(new=T)
plot((1:(k+1))-0.5, c(lim.u[1,],lim.u[1,k]),
ylim=axis.y, type="s", main="Carta de control
bayesiana con limites de control elicidados",
xlab="Observacion", ylab="Numero medio de de no
conformidades")
par(new=T)
lines(1:k,u[1:k])
#for(i in 1:k){abline(v=i,lty=3)}

```

```
#como linea central usamos E(u-1|a,b)
abline(h=ab[1]/ab[2])
lim.y
```

B.8. Carta de control con el método frecuentista en el periodo de verificación

```
y<-c(4,15,30,6,7,5,23,26,12,29,14,10,10,14,13,
10,2,8,12,23,5,7,13,13,3,5,34,31,4,37,5,7,9,4,
20,11,11,5,9,14,27,11,18,16,9,5,12,10,4,10,15,
8,28,8,21,45,6,4,4,35,39,2,6,6,12,19,21,10,9,
6,4,25,33,11,10,2,16,3,9,26,14,7,5,3,17,4,6,
21,3,8,4,12,27,4,7,38,2,8,5,7,2,4,16,31,6,9)
ni<-c(2,4,6,1,3,3,4,6,6,5,5,6,3,3,5,6,1,3,4,
4,1,6,3,2,5,2,3,5,2,5,1,5,2,6,6,3,5,6,2,4,6,
3,6,3,5,3,2,5,6,6,4,6,5,2,7,7,2,5,2,7,6,1,2,
3,7,6,3,3,3,6,1,5,6,6,2,1,5,1,1,4,5,4,2,3,5,
2,3,5,1,3,2,3,7,2,6,5,2,4,3,2,2,1,6,7,5,3)
k<-length(y)
l<-sum(y)/sum(ni)
u<-y/ni #; u[k+1]<-u[k]
lcs<-l+3*(l/ni)^(.5)
lci<-l-3*(l/ni)^(.5)
for(i in 1:k){lci[i]<-max(0,lci[i])}
y.lim<-c(0,max(max(lcs),max(u))*1)
plot(1:(k+1),c(lcs,lcs[k]), ylim=
y.lim, xlab="", ylab="", type="n")
plot((1:(k+1))-0.5, c(lcs,lcs[k]),
ylim=y.lim, xlab="", ylab="", type="s")
par(new=T)
plot((1:(k+1))-0.5, c(lci,lci[k]),
ylim=y.lim, xlab="Observaci3n",
ylab="Numero medio de no conformidades por Unidad",
type="s", main="Carta de control clasica de no
conformidades en historia clinica")
par(new=T)
lines(1:k,u)
#for(i in 1:k){abline(v=i, lty=3)}
```

```
abline(h=1)
cat("media de u: ", ub, "\n")
```

B.9. Carta de control bayesiana en el periodo de verificación para las no conformidades en las historias clínicas sin datos con causas asignables

```
y<-c(4,15,30,6,7,5,23,26,12,29,14,10,10,14,
13,10,2,8,12,23,5,7,13,13,3,5,31,4,37,5,7,
9,4,20,11,11,5,9,14,27,11,18,16,9,5,12,10,
4,10,15,8,28,8,21,45,6,4,4,35,39,2,6,6,12,
19,21,10,9,6,4,25,33,11,10,2,16,3,9,26,14,
7,5,3,17,4,6,21,3,8,4,12,27,4,7,38,2,8,5,
7,2,4,16,31,6,9)
ni<-c(2,4,6,1,3,3,4,6,6,5,5,6,3,3,5,6,1,3,4,
4,1,6,3,2,5,2,5,2,5,1,5,2,6,6,3,5,6,2,4,6,
3,6,3,5,3,2,5,6,6,4,6,5,2,7,7,2,5,2,7,6,1,2,
3,7,6,3,3,3,6,1,5,6,6,2,1,5,1,1,4,5,4,2,3,5,
2,3,5,1,3,2,3,7,2,6,5,2,4,3,2,2,1,6,7,5,3)
m<-10000
k<-length(y)
l<-sum(y)/sum(ni)
ab<-c(3.01470043,0.90860298)
u<-y/ni #; u[k+1]<-u[k]
lim.y<-matrix(0,ncol=k, nrow=4)
lim.u<-matrix(0,ncol=k, nrow=2)
for(i in 1:k){
l<-rgamma(m,ab[1],ab[2])
ys<-rpois(m,l*ni[i])
lim.y[1:2,i]<-quantile(ys,probs=c(0.025/2,1-0.025/2))*0.9
lim.y[3,i]<-sum(as.numeric(ys<lim.y[1,i]))/m
lim.y[4,i]<-sum(as.numeric(ys<lim.y[2,i]))/m
lim.u[1:2,i]<-lim.y[1:2,i]/ni[i]
}
axis.y<-c(0,max(max(lim.u[2,]),max(u)))
plot(1:(k+1),c(lim.u[2,],lim.u[2,k]),
ylim=axis.y, xlab="", ylab="", type="n")
plot((1:(k+1))-0.5, c(lim.u[2,],lim.u[2,k]),
```

```
ylim=axis.y,
xlab="",ylab="", type="s")
par(new=T)
plot((1:(k+1))-0.5, c(lim.u[1,],lim.u[1,k]),
ylim=axis.y, type="s", main="Carta de control bayesiana
con límites de control elicitados sin datos por fuera
de control por causas asignables",
xlab="Observación", ylab = "Número medio de no conformidades")
par(new=T)
lines(1:k,u[1:k])
#for(i in 1:k){abline(v=i,lty=3)}
#como la línea central usamos E(u-1|a,b)
abline(h=ab[1]/ab[2])
lim.y
```

B.10. Carta de control con el método frecuentista en el periodo de verificación sin datos fuera de control con causas asignables

```
y<-c(4,15,30,6,7,5,23,26,12,29,14,10,10,14,
13,10,2,8,12,23,5,7,13,13,3,5,31,4,37,5,7,
9,4,20,11,11,5,9,14,27,11,18,16,9,5,12,10,
4,10,15,8,28,8,21,45,6,4,4,35,39,2,6,6,12,
19,21,10,9,6,4,25,33,11,10,2,16,3,9,26,14,
7,5,3,17,4,6,21,3,8,4,12,27,4,7,38,2,8,5,
7,2,4,16,31,6,9)
ni<-c(2,4,6,1,3,3,4,6,6,5,5,6,3,3,5,6,1,3,4,
4,1,6,3,2,5,2,5,2,5,1,5,2,6,6,3,5,6,2,4,6,
3,6,3,5,3,2,5,6,6,4,6,5,2,7,7,2,5,2,7,6,1,2,
3,7,6,3,3,3,6,1,5,6,6,2,1,5,1,1,4,5,4,2,3,5,
2,3,5,1,3,2,3,7,2,6,5,2,4,3,2,2,1,6,7,5,3)
k<-length(y)
l<-sum(y)/sum(ni)
u<-y/ni #; u[k+1]<-u[k]
lcs<-l+3*(l/ni)^(.5)
lci<-l-3*(l/ni)^(.5)
for(i in 1:k){lci[i]<-max(0,lci[i])}
y.lim<-c(0,max(max(lcs),max(u))*1)
```

```
plot(1:(k+1),c(lcs,lcs[k]), ylim=
y.lim, xlab="", ylab="", type="n")
plot((1:(k+1))- .5, c(lcs,lcs[k]),
ylim=y.lim, xlab="", ylab="", type="s")
par(new=T)
plot((1:(k+1))- .5, c(lci,lci[k]),
ylim=y.lim, xlab="Observaci'on",
ylab="Numero medio de no conformidades por Unidad",
type="s", main="Carta de control clásica de no
conformidades en historia clínica sin datos fuera de
control por causas asignables")
par(new=T)
lines(1:k,u)
#for(i in 1:k){abline(v=i, lty=3)}
abline(h=1)
cat("media de u: ", ub, "\n")
```

Bibliografía

- Albert, I., Donnet, S., Guihenneuc, C., Low, S., Mengersen, K. & Rousseau, J. (2012), ‘Combining expert opinions in prior elicitation’, *Bayesian Analysis* **7**(13), 503–532.
- Albert, J. (2007), *Bayesian Computation with R*, Bayesian Computation with R, Springer.
- Andriano, N. (2006), Comparación del Proceso de Elicitación de Requerimientos en el Desarrollo de Software a Medida y Empaquetado. Propuesta de Métricas para la Elcitación, Master’s thesis, Univerdidad Blas Pascal - Maestría en ingeniería de Software.
- Assareh, H. (2010), Bayesian Hierarchical Models in Statistical Quality Control Methods to Improve Healthcare in Hospitals, PhD thesis, Queensland University of Technology - School of Mathematical Sciences - Science and Engineer Faculty.
- Astigarraga, E. (1994), *El Método Delphi*, primera edn, Universidad de Deusto - Facultad de Ciencias Económicas y Emoresariales. ESTE, Mundaiz, 50 -Apartado 1359 E-20080 Donostia - San Sebastián.
- Benaglia, T., Chauveau, D., Hunter, D. & Young, D. (2009), ‘mixtools: An R package for analyzing finite mixture models’, *Journal of Statistical Software* pp. 1–29.
- Bernardo, J. & Smith, A. (1994), *Bayesian Theory*, Wiley and Sons, New York.
- Chiu, W. & Leung, M. (1980), ‘A new Bayesian approach to quality control charts’, *Metrika* **27**(1), 243–253.
URL: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01893602>
- Clement, R. & Winkler, R. (1997), *Combining Probability Distribution from Experts in Risk Analysis*, Duke University - Faqua School of Business, Durham, North Carolina, EEUU.
- Colosimo, B. & Del Castillo, E. (2007), *Bayesian Process Monitoring - Control and Optimization*, first edn, Chapman and Hall/CRC - Taylor and Francis Group, Boca Raton - FL - USA.
- Cooke, N. (1994), ‘Varieties of knowledge elicitation techniques’, *International Journal of Human-Computer Studies* **41**(6), 801 – 849.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581984710834>

- Correa, J. (2005), 'Estadística Bayesiana, Notas de Clase'.
- Deming, W. (1986), *Out of the Crisis*, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study.
- Elder, L. & Paul, R. (2002), *El arte de Formular Preguntas Escenciales*, primera edn, Foundation for Critical Thinking.
- Florak, W. & Park, R. (1997), 'Practical Software Measurement: Measuring for Process Management and Improvement'.
- García, C., Herrerías, J. & García, J. (2007), 'Los Procesos de Elicitación en el Método de las dos Funciones de Distribución: Un Caso Práctico', *Estudios de Economía Aplicada - Asociación de Economía Aplicada - España* **25**(1), 245–273.
- García, G. & Layron, D. (2001), 'Control de Procesos. Alternativas Empírico-Bayes y Bayesianas a los Métodos Clásicos'.
- Gavasakar, U. (1988), 'A Comparison of Two Elicitation Methods for a Prior Distribution for a Binomial Parameter', *Management Science* **34**(6), 784–790.
- Gill, J. (2002), *Bayesian Methods: A Social and Behavioral Sciences Approach, Second Edition*, Chapman & Hall/CRC Statistics in the Social and Behavioral Sciences, Taylor & Francis.
- Giménez, D. (2014), 'La Historia Clínica: Aspectos Éticos y Legales'.
URL: <http://www.geosalud.com/malpraxis/historiaclinica.htm>
- Gutiérrez, H. (2006), 'Cartas de Control Bayesianas para Atributos y el Tamaño de Subgrupo Grande en la Carta p ', *Revista Colombiana de Estadística - Universidad Nacional de Colombia* **29**(2), 163–180.
- Ishikawa, K. (1986), 'Guide to Quality Control', *Asian Productivity Organization* p. 225.
- Juran, J. & Gryna, F. (1974), *Juran's quality control handbook*, McGraw-Hill reference, McGraw-Hill.
URL: <http://books.google.com.co/books?id=-VTAAAAMAAJ>
- Kadane, J. & Wolfson, L. (1998), 'Experiences in Elicitation', *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)* **47**(1), 3–19.
- Kathryn, C., Church, T., Louis, T. & Matts, J. (1992), 'Graphical Elicitation of a Prior Distribution for a Clinical Trial', *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)* **42**(4), 341–353.

- Khatiwada, R. & Sthapit, A. (2010), 'An application of bayesian method in packaged food quality control', *Nepal Journal of Science and Technology* **9**(0).
URL: <http://www.nepjol.info/index.php/NJST/article/view/3163>
- Kulhavy, R. (1992), 'Implementation of Bayesian Parameter Estimation in Adaptive Control and Signal Processing', *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)* **42**(4), 471–482.
- Landaeta, J. (1999), *El Método Delphi - Una técnica para la Previsión de la Incertidumbre*, primera edn, Editorial Ariel S.A., Córcega, 270 - 08008 Barcelona.
- Limaye, S., Mastrangelo, C. & Zerr, D. (2008), 'A case study in monitoring hospital-associated infections with count control charts', *Quality Engineering* **20**(4), 404–413.
URL: <http://dx.doi.org/10.1080/08982110802334120>
- Loucopoulos, P. & Karakostas, V. (1995), *System Requirements Engineering*, McGraw-Hill International Series in Software Engineering.
- Lucas, M. & Saccucci, M. (1990), 'Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements', *Technometrics* **32**(1), 1–12.
- Manrique, I. & A., L. (2013), 'La historia Clínica en las Demandas'.
URL: <http://www.encolombia.com/medicina/neumologia/neum141-02tema-hist.htm>
- Marcellus, R. (2007), 'Bayesian Statistical Process Control', *Quality Engineering* **20**(1), 113–127.
URL: <http://dx.doi.org/10.1080/08982110701509046>
- Marín, J. (2008), *Modelos Básicos de Estadística Bayesiana, Notas de Clase*.
- Marin, J. & Robert, C. (2007), *Bayesian Core. A Practical Approach to Computational Bayesian Statistics*, Springer, New York.
- Montgomery, D. (2009), *Introduction to Statistical Quality Control*, Wiley, New York.
- Morcillo, C., F., G. & L., M. (2006), 'Detección de Outliers en Muestras de Poisson y Exponencial', *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **91**(1), 1–7.
- Mosteler, F. & C., Y. (1990), 'Quantifying Probabilistic Expressions', *Statistical Science* **5**(1), 2–34.
- Moure, C. (2008), '¿Cómo puede un Lego Elegir de Manera Racional entre dos Expertos Rivales?', *Filosóficas* **1**, 1–16.

NIST/SEMATECH (2012), ‘e-Handbook of Statistical Methods’.

URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>

Nuseibeh, B. & Easterbrook, S. (2000), *Requirements Engineering: A Roadmap*, Limerick, Irlanda.

O’Hagan, A., Kadane, J. & Garthwaite, P. (2005), ‘Statistical Methods for Eliciting Probability Distributions’, *The American Statistician* **100**(470), 680–700.

Page, E. (1954), ‘Continuous Inspection Schemes’, *Biometrika* pp. 100–114.

Pérez, R. (2001), ‘Evaluación de la Calidad de las Historias Clínicas’, *Papeles Médicos* pp. 32–40.

Pettit, L. (1987), ‘Detection of Outliers in Poisson Samples’, *Community of Statistic - theory and Methods* **23**(6), 1785–1795.

Safaie, N. (2010), A Fully Bayesian Approach to Sample Size Determination for Verifying Process Improvement, PhD thesis, Department of Industrial and Manufacturing Engineer and the Faculty of the Graduate School of Wichita State University.

Saris, W. & Gallhofer, I. (2007), *Design, Evaluation, and Analysis of Questionnaires for Survey Research*, first edn, Jhon Wiley & Sons, Inc., United States of America.

Serna, H. (2008), *Gerencia Estratégica. Teoría, Metodología, Análisis, Implementación y Mapas Estratégicos e Índices de Gestión*, décima edn, 3R Editores, Bogotá D.C.

Shewhart, W. (1926), ‘Quality control charts.’, *Bell System Technical Journal* **5**(4), 72 – 82.

URL: <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edspsc&AN=000207189900005&lang=es&site=eds-live>

Strickler, Z. (1999), ‘Elicitation Methods in Experimental Design Research’, *Design Issues* **15**(2), 27–39.

Strucca, L. (2004), ‘qcc: An R Package for Quality Control Charting and Statistical Process Control’, *R News* **4**/1, 11–17.

URL: <http://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>

Team, R. C. (2013), *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.

URL: <http://www.R-project.org/>

Thomas, P. (2005), Definición de un Proceso de Elicitación de Objetivos, Master’s thesis, Universidad Nacional de la Plata - Facultad de Informática - Argentina.

- Tsiamirtzis, P. (2000), A Bayesian Approach to Quality Control Problems, PhD thesis, University of Minesota - Faculty of the Graduate School.
- Tsiamirtzis, P. & Hawkins, D. (2005), 'A Bayesian Scheme to Detect Changes in the Mean of a Short-Run Process', *Technometrics* **47**(4), 446–456.
URL: <http://dx.doi.org/10.1198/004017005000000346>
- Turoff, M. & Linstone, H. (2002), *The Delphi Method - Techniques and Applications*, first edn, Addison-Wesley.
- Vermaat, T. (2006), Statistical Process Control in Non-Standard Situations, PhD thesis, Universidad de Amsterdam - European Network for Business and Industrial Statistics.
- Walpole, R. (1999), *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*, sexta edn, Prentice - Hall Hispanoamerica S.A., Mexico D.F.
- Woodall, W. & Mahmoud, M. (2005), 'The Inertial Properties of Quality Control Charts', *Technometrics* **47**, 425–436.
- Woodhall, W. & Montgomery, D. (1999), 'Research Issues and Ideas in Statistical Process Control', *Journal of Quality Technology* **31**(4), 376–386.
- Woodward, P. & Naylor, J. (1992), 'An Application to Bayesian Methods in SPC', *The American Statistician* **42**(4), 461–469.
- Zapata, J. & Arango, F. (2004), 'Alineamiento entre Metas Organizacionales y Elicitación de Requisitos de Software', *Revista de la facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín* (143), 101–110.
- Zhijian, Y. (2008), Multivariate Bayesian Process Control, PhD thesis, University of Toronto -Mechanical and Industrial Engineering.