

EL ROL DE LA ESTADÍSTICA EN EL TRABAJO DEL INGENIERO

Roberto Behar, Rafael Klinger, Javier Olaya, Mercedes Andrade,
Eloina Mesa, Gabriel Conde, Jorge Delgado, Daniel Arbeláez,
Patricia Trujillo, Hernando Solano, Robby Nelson Díaz.*

* Profesores Área de Estadística - Escuela de
Ingeniería Industrial y Estadística - Facultad de
Ingeniería - Universidad del Valle.
E-mail:eloimesa@pino.univalle.edu.co

RESUMEN

Se trata de poner en evidencia la importancia que tiene para el ingeniero, la formación adecuada en el área de la Estadística, para hacer frente a la variabilidad y la incertidumbre que aparece en las situaciones corrientes de su ejercicio profesional. El Marco a partir del cual se reconstruye la dimensión estadística en el currículo del ingeniero, desarrollada con base en la necesidad de disponer de heurísticas que le permitan tomar decisiones razonables al ejercer su profesión de ingeniero, está basado en los planteamientos de Koen (1985). Se pretende enfatizar la conveniencia y la necesidad de incluir una buena

Fecha de recepción: Mayo 20 de 2002
Fecha de aprobación: Julio 18 de 2002

formación básica en Estadística, como una componente esencial en las carreras de Ingeniería. Se realiza una propuesta de temas a tratar, suficientemente flexible para adaptarse a las necesidades específicas de los distintos programas académicos de Ingeniería.

Palabras Clave: Cursos de Estadística, Currículum en Ingeniería, Heurismo

ABSTRACT

The goal is to make clear how important it is for engineers to reach appropriate literacy in Statistics. This way, engineers would successfully cope with phenomena like variability and uncertainty appearing on most common Engineering problems. The framework from which we suggest to rebuild the statistical dimension in the engineering curriculum is based on thoughts by Koen (1985) The statistical dimension is developed from the need of the availability of some heuristics that may help the engineer in the making of reasonable decisions. We emphasize the convenience and need of the inclusion of a solid basic instruction in Statistics, as an essential component in the engineering curriculum. A set of subjects is proposed, flexible enough to adapt itself to the specific needs of the different academic programs in Engineering.

Key Words: Statistics Courses, Engineering Curriculum, Heuristic Approach.

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de la Estadística en la actualidad, no se pone en discusión. Casi todos los programas profesionales universitarios incluyen en su currículo, al menos un curso de Estadística. En muchos países, inclusive en Colombia, la Estadística forma parte del currículo de la educación secundaria y, más aún, algunos tópicos se presentan en la educación primaria.

La dinámica del mundo moderno, exige que todo ciudadano, para ejercer sus derechos y comprender su entorno, requiera de una

alfabetización en Estadística.

El reconocimiento de la variabilidad y la incertidumbre, como elementos esenciales de la naturaleza y de la vida misma, ha ido creciendo. En la Tabla 1, en la cual se compara la demanda por cursos de Estadística con la demanda de cursos de cálculo (Cobb, 1993), se pone en evidencia la importancia creciente que se le ha dado a la disciplina Estadística.

Año	1966	1970	1975	1980	1985	1990
Porcentaje	10%	19%	37%	27%	36%	52%

Tabla 1. Inscripción a cursos de Estadística como un porcentaje de la inscripción a los cursos de cálculo (Inscripciones en "College" en USA)

En la formación de ingenieros, la pertinencia de la Estadística se hace más evidente. Si tomamos como referencia a Koen (1985), en la versión al castellano de su libro "El método de Ingeniería", nos percatamos de que inherente a su esencia, la estrategia del ingeniero, está envuelta en una nube de variabilidad e incertidumbre, en medio de la cual debe tomar decisiones que lo acerquen a su objetivo de una manera heurística. Veamos algunas expresiones textuales que refuerzan estos planteamientos:

"...Por el método de Ingeniería quiero decir la estrategia para causar el mejor cambio posible, con los recursos disponibles, en una situación incierta o pobremente estudiada"

Aquí queda implícito que el ingeniero debe tomar decisiones con información incompleta, en ambiente de incertidumbre, asumiendo riesgos, pero no de manera aventurera o irresponsable: lo hará con criterio y guiándose por heurísticas, muchas de las cuales tienen como propósito hacerse buenas ideas sobre la magnitud de los riesgos que asume y saber cuál es el lado que lo pone conservadoramente cerca de la seguridad.

El mismo autor dedica el capítulo 3 de su libro a definir algunos heurismos usados por el método de Ingeniería y los divide en 5 categorías, una de las cuales es:

"Algunos heurismos que usan los ingenieros

para mantener el riesgo dentro de los límites permitidos".

Otras expresiones como:

"...nunca será posible desarrollar del todo algunos problemas complicados, debido a la incertidumbre inherente al Método de Ingeniería".

"Dado que el ingeniero tratará de encontrar la mejor respuesta, aún en situaciones relativamente viables para tomar una decisión, es inevitable que exista algún riesgo. Esto desde luego no significa que todos los niveles de riesgo sean aceptables. Como podría esperarse a esta altura de la discusión, lo que es razonable está determinado por heurísticos adicionales que controlan el tamaño del riesgo que el ingeniero está dispuesto a tomar".

"Si el sistema que desea cambiar es complejo y poco entendido; si el cambio deseado es el mejor disponible y si está limitado por la disponibilidad de recursos, entonces usted está ante un problema de Ingeniería. Si usted logra el cambio usando el Método de Ingeniería, entonces usted es un ingeniero."

Basados en Koen (1985), queda claro que el método de ingeniería y la profesión de ingeniero, estarán limitados en su eficiencia y eficacia, si en un sitio privilegiado de su maletín de heurísticas, no tienen algunas que le permitan resolver y decidir en ambientes de riesgo e incertidumbre, que constituyen su condición natural de operación.

Cuando Koen se refiere a que no todos los niveles de riesgo son aceptables, está sugiriendo que el ingeniero en su responsabilidad, deberá cuantificar el riesgo para decidir con base en un riesgo de tamaño razonable.

¿Cuál es la naturaleza de aquellas heurísticas que le permiten al ingeniero cuantificar el tamaño del riesgo?

¿Cómo obtener una estimación pesimista de la magnitud de un efecto de particular importancia en un proyecto, que garantice al ingeniero que

actúa hacia el lado de la seguridad en cuanto al riesgo, pero sin perder de vista la racionalidad económica o práctica?

2. LA ESTADÍSTICA Y EL MÉTODO DE INGENIERÍA

La respuesta a los anteriores interrogantes la tiene la Estadística.

El ingeniero debe cuantificar el riesgo y las heurísticas que le permitirán hacerlo, son del resorte de la probabilidad y la Estadística.

En este camino, conocer los *elementos básicos de la teoría de la probabilidad*, de tal manera que a partir de la estimación de un evento simple, pueda obtener información sobre el riesgo de ocurrencia de eventos compuestos y complejos, es una necesidad para el ingeniero.

Si, con un determinado sistema, es posible resolver el problema con un riesgo r , ¿cuál sería el riesgo si se colocaran n sistemas en paralelo?

En una situación pobremente estudiada, ¿cómo hacer predicciones del riesgo, usando información incompleta?

Surge aquí la necesidad de conocer algunos modelos probabilísticos y su posible uso para simplificar la realidad y obtener respuesta sobre el riesgo de ocurrencia de eventos de interés.

Si la magnitud de un factor F , es un insumo clave para la solución de un problema de ingeniería, pero sólo dispongo de algunos datos sobre F , ¿Cómo puedo estimar la magnitud de F , asumiendo un riesgo de equivocarme en la estimación, definido a priori por el ingeniero?

En esta situación la Estadística puede apoyar la formación del ingeniero proporcionándole las herramientas adecuadas para la construcción de heurísticas, a través de la llamada *estimación de cantidades, por medio de intervalos de confianza*.

Koen (1985) en su intento por caracterizar el trabajo del ingeniero, expresa cómo el ingeniero inicia su trabajo saliendo de un punto de partida que corresponde a una situación de incertidumbre o pobremente estudiada y que su

punto de llegada es incierto. En el camino, deberá ir resolviendo las dificultades y obstáculos y tomando decisiones cuando existan varios caminos alternativos.

¿Cómo poder hacer comparaciones y tomar decisiones ante diversos cursos alternativos de decisión, en un ambiente de incertidumbre?

En esta problemática, la Estadística se constituye en una verdadera mina, de la cual el ingeniero puede dotarse de las heurísticas apropiadas para enfrentar con muy buenas posibilidades de éxito la situación de comparar alternativas, con información parcial, cuantificando el riesgo de tomar una mala decisión. Este yacimiento de heurísticas, se conoce en Estadística como Contraste de hipótesis, o ¿Cómo decidir entre varios posibles cursos de acción en ambiente de incertidumbre?

Koen plantea de manera muy pedagógica la diferencia entre los dominios de la Ciencia y de la Ingeniería. Uno de los elementos conceptuales que marca esta diferencia, es la restricción en los recursos disponibles. A diferencia de la ciencia, en la ingeniería no se hace referencia a la solución, sino a una solución.

En ingeniería una buena solución no se puede juzgar sin el conocimiento de la restricción generada por la disponibilidad de recursos.

En ingeniería puede preferirse una solución que no es la óptima absoluta (utilizando algún criterio de optimalidad), pero que se aproxima bastante bien a los requerimientos, si ésta es mucho más rápida y/o barata que la óptima.

Si la recopilación de la información completa requiere de un período de tiempo exagerado o exige una cantidad de recursos muy grande, el ingeniero deberá disponer de heurísticas que le permitan saber cuál es el punto de equilibrio entre la cantidad de recursos a invertir en obtener información y la magnitud del riesgo de equivocarse y sus consecuencias al tomar decisiones con dicha cantidad limitada de información.

La Estadística ofrece un excelente menú para que

el ingeniero disponga de heurísticas que le permitan cuantificar el monto de recursos que debe asignar a la inversión en información y la manera de decidir con dicha información. Esta carta de navegación se conoce en Estadística como estimación del tamaño de muestra y puede relacionar un tamaño de muestra a seleccionar con el riesgo de equivocarse al decidir con ella en algún sentido.

Por otro lado ante la incertidumbre o el pobre conocimiento de la situación, el ingeniero debe disponer de heurísticas que le permitan en algunas ocasiones hacer ensayos en pequeña escala, para predecir el comportamiento de un sistema, anticiparlo tomando las medidas adecuadas y llenándose de argumentos para favorecer un curso determinado de acción.

¿Cómo realizar estos ensayos? ¿Cómo concluir con base en la información obtenida en los ensayos, si se sabe que es información parcial, no reproducible en forma exacta si se repitieran los ensayos?

En esta situación, un excelente socavón, rico en las mejores fuentes para producir heurísticas, lo constituye el diseño estadístico de experimentos, el cual no sólo plantea muy buenas guías para la ejecución de los ensayos, para garantizar la validez de las conclusiones que se obtengan, sino que permite controlar el riesgo, definiendo a priori, la magnitud de los riesgos que el ingeniero está dispuesto asumir, en el sentido de tomar decisiones equivocadas. Además incluye relaciones esenciales que conectan los recursos a invertir con la calidad de las decisiones.

Ya se dijo que una condición inherente al trabajo de un ingeniero, y que por tanto caracteriza el Método de Ingeniería, es restricción en la disponibilidad de recursos. Entre varias heurísticas comparables en su eficiencia, el ingeniero podría escoger aquella que exija menos insumos de información y en general que implique menos recursos.

Proteger los recursos, es una de sus misiones permanentes. En este sentido poder predecir el

estado final resultante de un curso de acción tomando en consideración características de su punto de partida, le permitirá disminuir los riesgos de invertir recursos en rectificaciones por deficientes predicciones.

Por otro lado, pero en el mismo sentido, en situaciones problema donde se requiere el conocimiento de magnitud de F , para tomar una decisión, pero en lugar de conocer F , se conocen X , Y , Z y W , que son mucho más baratas y prácticas de medir que la propia F , surge la pregunta: ¿Cuáles heurísticas me permiten tomar decisiones equivalentes con estas últimas en lugar de F ? Entre las características disponibles (X , Y , Z y W), ¿Cuál es el subconjunto mínimo que se requiere y cuál es la calidad de las decisiones que se tomen con base en dicho subconjunto? ¿Cómo predecir el valor F correspondiente a un conjunto de valores específico de las características (X , Y , Z y W)?

En esta problemática, la Estadística vuelve a salir a la palestra, poniendo a disposición del ingeniero los modelos para predecir la magnitud de una característica mediante el conocimiento de otras, a través de los llamados modelos de regresión.

Si una de las condiciones del punto de partida del ingeniero es la disponibilidad de información sobre un conjunto de características relacionadas con la situación problema, ¿Cómo explorar esta información para plantear, a partir de ella, algunas hipótesis que permitan orientar el próximo curso de acción?

En esta fase la Estadística entrega en las manos del ingeniero, algunas estrategias para hacer útiles sus datos, dándoles sentido en el contexto de su problema a través del llamado Análisis Exploratorio de Datos.

Cuando el comportamiento futuro de una característica, es un parámetro de diseño para un proyecto, se requiere disponer de Heurísticas que permitan sacar provecho del conocimiento sobre cómo se ha comportado dicha variable en el pasado, para hacer pronósticos y estimar su fiabilidad. En este campo, la Estadística provee

los elementos necesarios a través del llamado análisis de series de tiempo y pronósticos.

En campos específicos de la ingeniería, en los cuales una característica inherente a la calidad de un producto es el tiempo que transcurre hasta que el producto falla o la duración del tiempo entre fallas, se requiere conocer algunos parámetros que garanticen a priori, la confiabilidad del producto o servicio o para la definición de políticas de mantenimiento de equipos, para la definición de tiempo de garantía, es muy conveniente disponer de heurísticas para la predicción de la fiabilidad, campo fértil de la Estadística a través de la Teoría de la Fiabilidad.

Si se trata de controlar y mejorar la calidad de productos o procesos en ambientes de incertidumbre y variabilidad, como es la situación normal en la industria manufacturera y en las empresas de servicios, las heurísticas universalmente usadas corresponden al área de Métodos estadísticos para el control y el mejoramiento de la calidad.

Si se quiere abordar la calidad desde el propio diseño del producto, intentando conocer la interacción entre los parámetros de diseño del producto o de la operación de un proceso, con características de preferencias o del ambiente del usuario final, se requiere usar la Estadística a través de los llamados Métodos estadísticos para el logro de la calidad por diseño.

Citando una vez más a Koen (1985), al empezar su capítulo 1, dice:

" El uso del Método de ingeniería, en vez del uso de la razón, es la herencia de la humanidad más equitativamente distribuida. Por Método de Ingeniería quiero decir la estrategia para causar, con los recursos disponibles, el mejor cambio posible en una situación incierta o pobremente estudiada. Por Razón, quiero dar a entender la habilidad para distinguir lo verdadero de lo falso."

Esta distinción indica que la lógica formal, no será el instrumento que usará el ingeniero para definir sus cursos de acción y para tomar sus decisiones sobre lo que funciona o no funciona, pues como

lo explica el propio Koen en su caracterización de *heurismos*, no se garantiza que la aplicación de un heurismo sea siempre válida. Además, heurismos diferentes disponibles en el maletín del ingeniero pueden conducir a resultados contradictorios.

En este estado de cosas ¿Cómo decidir sobre la plausibilidad de una heurística o de alguna estrategia, en ambiente de incertidumbre, si no es la lógica formal la que nos rige?

Esta situación se identifica extraordinariamente con lo que se conoce como *Pensamiento Estadístico*, el cual da pautas y guías para valorar un conjunto de datos, con base en la naturaleza del proceso que los generó, sin comprometerse con la validez categórica de los mismos. Es decir, que unos datos serán tan buenos como el proceso que les dio origen.

Igualmente cuando se requiere comparar cursos de acción, la Estadística proporciona unas guías, que de seguirse, hacen plausibles las conclusiones que se obtengan al aplicar unos procedimientos consistentes con dichas guías, aunque no las garantiza al cien por ciento.

El pensamiento estadístico es una dimensión transversal a toda heurística que intente obtener información o tomar decisiones en ambientes de variabilidad e incertidumbre.

Para finalizar, podemos plantear la pregunta ¿Cómo comparar la eficiencia de varias heurísticas en ambientes de incertidumbre o en situaciones pobremente estudiadas?

Una posible estrategia para lograr este propósito, puede darse con base en *la simulación*, la cual permite a costos relativamente bajos predecir el comportamiento de una heurística, en diferentes ambientes y condiciones de partida. Conociendo comportamientos aproximados de las componentes de un sistema y de sus complejas relaciones, puede hacerse uso de las herramientas que proporciona la simulación para obtener resultados empíricos del comportamiento del sistema completo, pudiéndose evaluar la sensibilidad o robustez a ciertas condiciones y ambientes.

3. LA ESTADÍSTICA EN EL CURRÍCULO DE INGENIERÍA

Hemos descubierto, con base en la óptica de Koen (1985) y su caracterización del Método de Ingeniería, algunas necesidades de conocimiento, relacionadas con potencializar su capacidad de enfrentar la variabilidad y la incertidumbre, inherentes a la esencia del trabajo de un ingeniero.

En este sentido y asociado a las diversas problemáticas, en las que puede aparecer la incertidumbre al aplicar el Método de Ingeniería, surgieron los nombres de los temas básicos de la disciplina Estadística, que sería muy conveniente que un ingeniero conociera y colocara en su maletín de heurísticas.

Los contenidos.

Resumiendo, estas temáticas son:

1. Criterios para juzgar la representatividad de una muestra y la validez de la comparación de alternativas. Validez externa y validez interna de un estudio. (Pensamiento estadístico y criterios de validez).
2. ¿Cómo sacar jugo (información) a partir de un conjunto de datos?. ¿Cómo generar hipótesis? ¿Cómo comunicar los resultados de un diagnóstico? (Análisis Exploratorio de datos).
3. ¿Cómo determinar el riesgo de que ocurra un evento complejo, a partir del conocimiento del riesgo de ocurrencia de eventos simples? Dado un conjunto de datos sobre la frecuencia de ocurrencia de un fenómeno, ¿Cómo ajustar un modelo probabilístico a esta situación, de tal manera que permita hacer pronósticos sobre su comportamiento en otras condiciones? (Fundamentos de la teoría de la probabilidad).
4. Estimación de cantidades, calculando el riesgo de equivocarse en la estimación. (Intervalos de confianza).
5. ¿Cómo escoger un curso de acción entre varias posibles opciones, en ambiente de incertidumbre? (Fundamento del contraste o prueba de hipótesis).

6. ¿Cómo estimar el tamaño de muestra más adecuado para lograr una calidad definida a priori de la estimación?
7. ¿Cómo obtener los datos y cómo analizarlos, cuando se desea comparar varias alternativas de acción? ¿Cómo medir los riesgos de equivocarse en la decisión? ¿Cuántos experimentos realizar en cada tratamiento? (Diseño estadístico de experimentos).
8. ¿Cómo predecir la magnitud de una característica, conociendo las magnitudes de otras? (Modelos de Regresión).
9. ¿Cómo analizar un problema complejo basados en un modelo que lo explica satisfactoriamente, pero sin tomar mediciones reales que pudieran resultar de la ejecución del experimento asociado con el problema? (ABC de los procedimientos de simulación).
10. ¿Cuál es el procedimiento más adecuado para obtener un conjunto de observaciones que nos permita obtener la precisión deseada al mínimo costo? (Métodos de muestreo).
11. ¿Es posible pronosticar el comportamiento de una variable a través del tiempo minimizando el riesgo de cometer errores de pronóstico? (Análisis de series de tiempo y pronósticos).
12. ¿Cuál debería ser la mejor disposición física de los componentes de un equipo para minimizar el riesgo de falla? Introducción a la teoría de la fiabilidad.
13. ¿De entre una colección de opciones disponibles, cuál sería el modelo más acorde a una situación específica en Ingeniería? (Modelos probabilísticos para aplicaciones en ingeniería).
14. ¿Es la Estadística fuente de problemas filosóficos? ¿Impacta la sociedad el uso que de la Estadística haga el Ingeniero? (Reflexiones sobre Estadística, Ingeniería y Sociedad).
15. ¿Es posible modelar un problema en el cual se pase de una situación a la siguiente o se regrese a la anterior o se permanezca sin cambiar con alguna frecuencia? (Aplicaciones de los Procesos Estocásticos).
16. ¿Cómo podría utilizarse una idea a priori del

comportamiento de un fenómeno para validarla a posteriori? (Aproximación Bayesiana).

La organización de los contenidos en cursos.

Se propone organizar los temas anteriores en dos cursos de la siguiente manera: Un primer curso, en el cual se abordan los fundamentos de la Estadística, a partir del cual se logran ciertas habilidades que son útiles por sí mismas, y además se siembran los conceptos fundamentales para hacer verdaderamente útiles y comprensibles, los métodos estadísticos que se tratan en un segundo curso.

Primer Curso: Fundamentos de Estadística. (4 horas /semana)

- Criterios para juzgar la representatividad de una muestra y la validez de la comparación de alternativas. Validez externa y validez interna de un estudio. (Pensamiento estadístico y criterios de validez).
- ¿Cómo obtener información de un conjunto de datos? ¿Cómo generar hipótesis? ¿Cómo comunicar los resultados de un diagnóstico? (Análisis Exploratorio de datos).
- ¿Cómo determinar el riesgo de que ocurra un evento complejo, a partir del conocimiento del riesgo de ocurrencia de eventos simples? (Fundamentos de la teoría de la probabilidad).
- Estimación de cantidades, asociando el riesgo de equivocarse en la estimación. (Intervalos de confianza).
- ¿Cómo escoger un curso de acción, entre dos posibles opciones, en ambiente de incertidumbre? (fundamento del contraste o prueba de hipótesis).
- ¿Cómo estimar el tamaño de muestra para lograr una calidad definida a priori de la estimación?

Segundo curso: Métodos estadísticos. (4 horas /semana)

Este segundo curso, se ajusta a las necesidades específicas de cada plan de estudios, dando la posibilidad de escoger algunos temas que sean prioritarios para el programa, respetando la

estructura de prerrequisitos correspondiente.

Así por ejemplo, un programa puede seleccionar fiabilidad, como podría ser el caso de ingeniería eléctrica o electrónica, como un tema prioritario, mientras que otro puede decidirse por análisis de series de tiempo y pronósticos o por métodos de muestreo, etc.

Algunos de los temas que podrían formar parte del contenido de un segundo curso son:

- ¿Cómo escoger un curso de acción, entre más de dos posibles opciones, en ambiente de incertidumbre? (Análisis de la varianza y Comparaciones múltiples).
- ¿Cómo obtener los datos y cómo analizarlos, cuando se desea comparar varias alternativas de acción y se consideran varias variables de clasificación? ¿Cómo medir los riesgos de equivocarse en la decisión? ¿Cuántos experimentos realizar en cada tratamiento? (Introducción al Diseño Estadístico de Experimentos).
- ¿Cómo estimar el tamaño de muestra para lograr una calidad definida a priori de la estimación, cuando se comparan varias poblaciones?
- ¿Cómo predecir la magnitud de una característica, conociendo las magnitudes de otras? (Modelos de Regresión).
- ¿En qué casos es razonable y útil el uso de la simulación?
- ¿Cuándo y cómo es necesario o prudente utilizar las técnicas de muestreo?
- ¿Cómo se debería manejar una serie cronológica con fines de predicción?
- ¿Cómo evaluar el riesgo de que un equipo o sistema funcione sin fallas por el mayor tiempo posible?
- ¿Cómo se puede seleccionar el modelo probabilístico más adecuado para una aplicación en Ingeniería?
- ¿Reflexionamos sobre Estadística, Ingeniería y Sociedad?

4. A MANERA DE CONCLUSIÓN

Se desprende de lo desarrollado en el presente artículo, que la formación Estadística no puede ser opcional en el currículo de un ingeniero, sino que debe ser parte esencial y básica de su currículo. Trabajar con información incompleta, en ambiente de incertidumbre es la condición natural del entorno de un ingeniero, quien deberá tener la capacidad de descubrir patrones en medio del ruido que significa la variabilidad.

En este contexto, se resalta la necesidad de fortalecer en el futuro ingeniero su pensamiento estadístico, una actitud que considere la variabilidad y la incertidumbre como elementos importantes en el estudio y solución de problemas de ingeniería.

Esta realidad es reconocida en todo el mundo, pues en la mayoría de los programas de formación de ingenieros se considera la inclusión de al menos dos cursos de Estadística, con intensidades de 3 a 4 horas semanales, que es una recomendación que los autores consideran razonable para los programas de ingeniería en Colombia.

5. BIBLIOGRAFÍA

Behar, R., Klinger, R., Olaya, J., Andrade, M., Mesa, E., Conde, G., Delgado, J., Arbelaez, D., Trujillo, P., Solano, H. y Díaz, R.. (2001) "La Estadística en el Currículo del Ingeniero". Documento presentado por los profesores del área de Estadística de la Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística al Consejo de Facultad de ingeniería de la Universidad del Valle, a propósito de la reforma de los planes de estudio.

Cobb, G. W. (1993) "Reconsidering Statistics Education: A national Science Foundation Conference." Journal of Statistics Education, v.1, n.1. 1993

Koen, Billy Vaughn (1985) "El método de Ingeniería". Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, ACOFI.