

Estimación de la precisión en la micromedición del sistema de abastecimiento de agua de Pereira

Estimation of precision in the micro- measurement of the water supply system in Pereira

J. D. López, J. G. Guerrero

Recibido Septiembre 10 de 2013 – Aceptado Noviembre 15 de 2013

Resumen - La administración del recurso hídrico en centros urbanos implica el permanente control y seguimiento al uso del agua con el objeto de mejorar la prestación del servicio y lograr la eficiencia en el consumo por parte de los usuarios. En este sentido la medición a nivel micro se convierte en una herramienta de control para el uso eficiente y el ahorro del agua, cuya optimización está relacionada con la capacidad técnica de la empresa y la tecnología utilizada. La presente investigación evaluó el comportamiento del parque de medidores en el sistema de abastecimiento urbano de la Ciudad de Pereira a partir del sistema de información comercial de las empresas prestadoras del servicio, datos que permiten hacer inferencia sobre el desgaste de los diferentes medidores, considerando sus características técnicas y el impacto en el consumo de agua de los usuarios. Se encontró principalmente un desgaste mayor en medidores de clase B, frente a los de clase C, además que el consumo es mayor cuando el usuario se ve enfrentado a esta última clase.

Palabras clave - micromedición de agua, consumo de agua, uso eficiente del agua.

Abstract - The management of water resources in urban centers involves continuous monitoring and control of resource use in order to improve service delivery and achieve efficiency in the consumption by the users. In this sense, the meter measurement becomes the main control tool for the efficient water use, whose optimization is related to the technical capacity of the company, the technology used and its accuracy. This research evaluated the performance of the measurement devices in the urban water supply system of Pereira city, considering the company commercial information system, the data allow to inference the attrition of different measurement devices, considering its features techniques and the impact on water consumption by users. It was mainly found more attrition in class B meters, compared to class C, and the negative impact on consumption is higher when the user was confronted to the latter class.

Key Words - water micro measurement, water consumption, efficient use.

¹Producto derivado del proyecto de Investigación “Uso de la información comercial para la evaluación de la precisión en la medición del consumo de agua en sistemas de abastecimiento urbanos”, apoyado por la Universidad Tecnológica de Pereira a través del grupo de Investigación en Agua y Saneamiento.

J. D. López. Administrador Ambiental, Magister en Economía, Docente Facultad del Medio Ambiente, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, grupo de Investigación en Agua y Saneamiento, (correos e.: jodalo@utp.edu.co).

J. G. Guerrero. Ingeniero Sanitario, Magister en Ingeniería Ambiental, Doctor en Ingeniería, Profesor Titular Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, grupo de Investigación en Agua y Saneamiento, (correo e.: jhguerre@utp.edu.co).

I. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua en cantidades suficientes es uno de los principales problemas que enfrentan las ciudades en la actualidad, [1] ha estimado que el uso del agua a nivel mundial ha aumentado seis veces en los últimos 100 años, y se espera que aumente en un 50% en las próximas tres décadas.

Las discusiones sobre la gestión de los recursos hídricos para la satisfacción de las necesidades humanas en el pasado, se centraban en la gestión de la oferta como posible salida a los problemas de escasez y agotamiento del recurso, a la

búsqueda permanente de fuentes alternas, la construcción y el levantamiento de grandes infraestructuras, el aumento de la capacidad de autodepuración y la regulación de caudales en las cuencas hidrográficas; alternativas caracterizadas por altos costos de inversión y operación. Sin embargo en la actualidad la discusión se trasladó a la gestión de la demanda con actividades de minimización y prevención de excesos, como una de las vías que permite reducir la presión sobre el recurso hídrico y aumentar su disponibilidad frente a los escenarios de escasez [2].

La gestión de la demanda en sistemas de abastecimiento incluye un enfoque interdisciplinario combinando instrumentos e incentivos de carácter técnico, económico y social. Dentro de esta caja de herramientas se encuentra el permanente monitoreo y seguimiento. [5] asegura que el adecuado control es posible únicamente mediante la medición exhaustiva de las variables hidráulicas, como es el caso de los caudales que circulan en la red de distribución y los consumos de agua por parte de los usuarios. Para realizar el control al consumo de agua existen diferentes instrumentos tecnológicos en el mercado, la selección de la alternativa más adecuada se encuentra en función de la precisión, el costo, la instalación, las necesidades de mantenimiento y el desgaste, este último conocido como el error global de un medidor.

Los medidores no registran los consumos de agua con la misma exactitud para todos los caudales que circulan a través de ellos, a caudales bajos el error tiene amplias variaciones desde el caudal de arranque hasta el caudal nominal, esta situación conlleva a que en estos intervalos de caudal, el desgaste del medidor tiene mayor impacto [4]. Se distinguen tres clases de medidores en los sistemas de acueductos urbanos (A, B y C) todos con diferentes características metroológicas, las cuales se refieren a la capacidad del aparato para registrar de manera precisa la variable observada, en este caso volumen que circula (Ver tabla 1).

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS MEDIDORES SEGÚN TIPO, PARA UN DIÁMETRO DE 15MM [7]

Tipo	Q máximo	Q Nominal	Q Mínimo	Q Transición	Q Arranque
A	3 m ³ /h	1,5 m ³ /h	60 l/h (+/- 5%)	150 l/h (+/- 2%)	
B	3 m ³ /h	1,5 m ³ /h	30 l/h (+/- 5%)	120 l/h (+/- 2%)	10
C	3 m ³ /h	1,5 m ³ /h	15 l/h (+/- 5%)	22,5 l/h (+/- 2%)	10

En [7] se establecen las características técnicas, metroológicas y los requisitos de pérdida de presión para medidores de agua potable fría y de agua caliente. Se aplica a medidores de agua que pueden soportar presiones de trabajo máximas admisibles (PMA) ≥ 1 MPa (0.6 MPa en medidores para uso con diámetros nominales de tubería, DN ≥ 500 mm).

Los rangos de precisión de los diferentes instrumentos a diferentes caudales varían por clase, en general los de clase A tienen menor precisión, pero su bajo costo de inversión hace que aún se encuentre en el mercado, la clase B es el más

usado dada su característica de precio/calidad frente a los registros, sin embargo es menos preciso que los de clase C, pues estos son sometidos a controles más estrictos durante su fabricación y requieren un menor caudal de arranque.

La medición de los consumos es sensible tanto para las empresas prestadoras del servicio de acueducto, como para los usuarios, porque de ello se derivan los ingresos de los primeros y los cobros facturados a los segundos. El desgaste de los equipos de medición se ve influenciado por los materiales y métodos utilizados en su construcción y por el tiempo de utilización del equipo. La literatura existente sobre la caracterización del desgaste no es muy extensa, experiencias de [3], [4], [5], [6] discuten los factores técnicos que intervienen en el desgaste de un medidor, la gestión de la información y la valoración económica de la elección de un instrumento.

La incertidumbre sobre el error de los contadores individuales y sobre la totalidad de los instalados causa distorsión en los balances hídricos de la red de distribución. En [3] evaluaron la precisión en la medición del consumo de agua a partir de la determinación del patrón de consumo y la curva de error a partir del muestreo de usuarios y medidores. La medición de esta curva de error global se convierte en una herramienta de evaluación de la calidad de las mediciones de consumos realizadas por el sistema de abasto.

Estos métodos de determinación del error son considerados costosos y hacen necesario un nivel de capacidad técnica de las empresas para establecer estos indicadores, [6] propone un método alternativo para determinar el porcentaje de volumen que un determinado modelo de medidor deja de registrar; también compara el comportamiento de dos tipos de medidores a partir del uso de la información comercial de la empresa de servicios.

El objetivo central de la presente investigación es analizar el comportamiento de los medidores instalados en un sistema de acueducto, a partir de la información comercial registrada por el operador del servicio, utilizando técnicas estadísticas que permitiesen inferir sobre su desempeño.

II. CONTENIDO

El trabajo se suscribe en el proceso de cambio de medidores establecido por el operador del servicio de acueducto, para el sistema de abastecimiento del Municipio de Pereira. En el marco de los objetivos se encuentra la determinación del desempeño de los medidores que integran el parque, la cual es una aproximación al error de medición de los mismos y posteriormente se analiza el impacto en los consumos registrados, a partir del cambio de clase metroológica.

Datos utilizados

La base de datos del sistema de acueducto está constituida por 52.490 usuarios que corresponden a todos aquellos que

cambiaron de medidores entre enero de 2008 y julio de 2011, que corresponden al 51 % del total de usuarios atendidos por el operador. La información de la base de datos se constituye por: usuarios por clase (residencial, comercial, industrial, oficial, especial, pila pública y propios de la empresa); estrato socioeconómico para usuarios de clase residencial; diámetro de la acometida; número de serie del medidor; fabricante del medidor; clase metrológica de medidor; fecha de instalación del medidor actual y anterior; motivo de cambio; lecturas de medidor; consumos asignados; frecuencia de facturación (ciclos) y algunas observaciones específicas.

Dado que el objeto central de la investigación fue analizar el desempeño del parque de medidores instalado en el sistema de distribución, la base de datos fue sometida a un proceso de depuración, tomando como punto de referencia solo los usuarios correspondientes a las clases de uso residencial y comercial, los motivos de cambio relacionados con vida útil, robo, frenado, cambio de clase y de diámetro. Se excluyeron aquellos usuarios o instalaciones nuevas. Finalmente se obtuvo en total, una población para el estudio de 32.909 usuarios, que representa el 26.4 %, del total de usuarios de la empresa.

Análisis de la información

Para el análisis del desempeño del parque de medidores, objeto del presente trabajo, el punto de partida fue la estimación teórica del desgaste, con base en lo propuesto por [4], cuyo método consiste en analizar la evolución del volumen medio registrado en una unidad de tiempo, en función del tiempo transcurrido desde su instalación o del volumen acumulado por el medidor. Se espera que los medidores con pobres características metrológicas registren en promedio menos volumen, que aquellos que mantengan en mejores condiciones su curva de error.

Los medidores fueron agrupados por modelos y por edad, obteniéndose un valor promedio de los consumos de los usuarios conectados a la red o su volumen acumulado y estableciendo regresiones lineales sobre el comportamiento de los datos. Como estimador del ritmo de deterioro anual se hizo uso de un índice compuesto por el ratio de los parámetros resultantes del ajuste lineal (Ecuación 1), este ratio se caracteriza por representar las variaciones del coeficiente con respecto a la variable dependiente, en este caso, la edad del medidor

$$TDA = \frac{\beta_0}{\beta_1} \quad (1)$$

Donde: TDA es la tasa de deterioro anual, representa la pendiente y el intercepto de la línea que presenta mejor ajuste a la dispersión de los datos. Este parámetro permite establecer las diferentes comparaciones entre los grupos por modelos y edades.

Posteriormente se evaluó y estimó el impacto en el consumo a partir de un cambio de clase metrológica entre diferentes

grupos de edades, partiendo del supuesto que la sustitución masiva de medidores genera un impacto positivo en la calidad de la medición. Para ello se establecieron los volúmenes medios mensuales consumidos por los diferentes usuarios que cambiaron de medidor en el mismo periodo de tiempo (mes de referencia) y por el método de aproximación lineal se estimaron los parámetros asociados al comportamiento del promedio del consumo en el tiempo, para los momentos antes y posterior al cambio.

Con el fin de examinar el tiempo que tardan los usuarios en recomodar su patrón o hábito de consumo una vez se le ha cambiado de medidor B a C, se realizó un análisis de varianza, tomando registros de consumos del último periodo de B antes del cambio, y los tres primeros y último periodo de C disponible en la base de datos que corresponde a los registros del mes de julio de 2011.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la base de datos se encontraron 29,057 usuarios de la clase residencial y 3,852 usuarios pertenecientes a la clase de uso comercial que hicieron cambio de medidor entre los años 2008 y 2011. La clase de uso residencial incluye a todos los estratos socioeconómicos desde el Bajo-Bajo hasta el Alto, la mayor proporción corresponde a los estratos más bajos (estratos 1, 2, y 3) con un 66 %. Del total de medidores, el 60% cambió de clase B a clase C y el 33 % mantuvo la clase, ya que contaban con medidor clase C antes del programa de cambio, y un 7 % del total tenían error de asignación de clase denominada medidor o totalizador en el sistema, error relacionado con el sistema de información los cuales fueron descartados del análisis final (ver Tabla 2).

De la población de referencia la mayor proporción de usuarios (64 %) realizaron el cambio entre los años 2008 y 2009, para un total de 21.250 medidores. En este contexto el 30 % del parque de medidores instalados tenían entre 3 y 3.75 años de edad. Los medidores que fueron cambiados presentaban una edad promedio de 7.5 años con valores entre 1-12 años (Ver Tabla 2).

TABLA 2 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS EDAD DE LOS MEDIDORES

<i>Variable</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Dato Mínimo</i>	<i>Dato Máximo</i>
Edad Medidor Anterior (Años)	7.5	3.4	0*	12
Edad Medidor Actual (Años)	2.2	1.0	0*	4

*El dato de 0 hace referencia a aquellos medidores que tienen una edad menor a un año.

En cuanto a los consumos registrados por los medidores, el promedio mensual del parque fue de 16.5 m³ y un consumo total acumulado (registro acumulado) de 542,008.1 m³ (Ver Tabla 3).

TABLA 3 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS CONSUMO DE AGUA DE USO RESIDENCIAL

Variable P	romedio	Desv. Estándar	Mínimo M	áximo
Consumo mensual (m ³ /mes)	16.5	0.8	15.1	18.2
Consumo total (m ³)	542,008.1	25,771.1	498,125	598,990

La figura 1 presenta el comportamiento del consumo promedio mensual por usuario, tanto para la población que fue sujeta de cambio de medidores como para el total de usuarios del sistema, de acuerdo con el comportamiento de las series el registro de consumo de agua presenta una tendencia decreciente en todos los casos, para el total de usuarios en promedio se consumían en enero de 2008 18.2 m³ por usuario, mientras que en el mes de julio de 2011 este promedio alcanzó los 16.14 m³.

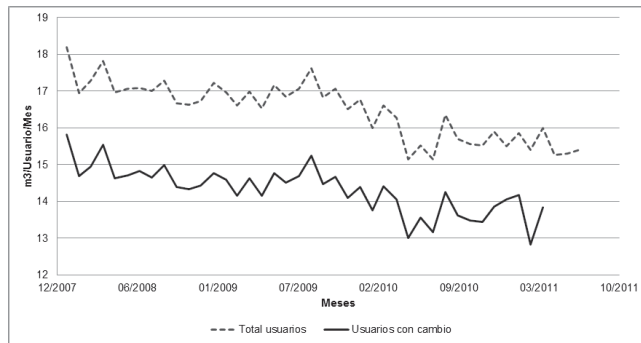


Figura 1 Consumo promedio de agua en el tiempo para el total de usuarios y los que cambiaron de medidor

La serie de todos los usuarios en términos de consumo se encuentra por encima de la población que cambió el medidor, en todo el período analizado, estas diferencias alcanzan aproximadamente 13.32 % del promedio mensual (Figura 1).

Desgaste del parque de medidores

En la tabla 4 se presentan los resultados de las estimaciones de la TDA, para todo el parque y diferenciando entre las clases disponibles; en general, se estimó una TDA para todo el parque de medidores de -2.09 %, que indica que los medidores dejan de registrar 2.09 % por cada año de uso, debido al desgaste de los mismos. Al observar los resultados obtenidos por clases, los de medidores tipo B presentan una TDA de -2.96 %, mientras los de tipo C de -1.70 %.

TABLA 4 RESUMEN ESTIMACIÓN TDA POR CLASE

Medidores	Constante	Pendiente	TDA
Parque	18.355	-0.3836	-2.09 %
Clase B	19.993	-0.5912	-2.96 %
Clase C	18.407	-0.3134	-1.70 %

Se realizó adicionalmente una estimación de la TDA por

marca de medidor, dejando de lado la clase, para determinar si la marca está relacionada con un error mayor o menor. Para el cálculo se tomaron las cuatro marcas más utilizadas en el sistema de distribución, denominadas como, I, II, III y IV (omitiendo los nombres de las marcas), el resumen de las estimaciones se presenta en la Tabla 5. En los resultados se observa que la TDA es diferente en todas las marcas de medidores, la tasa de desgaste más alta fue para los medidores marca II con un -6.89 % y la menor tasa de desgaste la presentan los de marca III con -0.27 %.

TABLA 5 RESUMEN ESTIMACIÓN TDA POR MARCA

Marca del medidor	Constante	Pendiente	TDA
I	17.625 -	0.3307	-1.88 %
II 1	9.445 -	1.3393	-6.89 %
III	15.861 -	0.0433	-0.27 %
IV 2	2.175 -	1.0026	-4.521 %

Estimación del impacto en la medición por cambio de clase metrológica

A partir de la información de consumos y momento de cambio se establecieron las diferencias en los registros, estimando las tasas de cambio del consumo ex ante y ex post.

Tomando como mes de referencia el momento de la instalación del nuevo medidor, se establecieron intervalos de tiempo de como mínimo, 12 meses anteriores y posteriores al cambio, en total se consideraron 16,413 usuarios que cambiaron entre los meses de enero de 2009 y julio de 2010.

De acuerdo con los resultados (Tabla 6), posterior al cambio de medidor, el consumo aumenta en los meses subsiguientes, lo demuestra la diferencia entre las constantes o intercepto de la regresiones lineales de los registros antes y después del cambio; sin embargo la tasa de decrecimiento en el tiempo después del cambio (la pendiente) es mayor (-0.092) que antes del cambio de clase (-0.011), lo que indica un reajuste en el hábito de consumo.

TABLA 6 RESUMEN ESTIMACIONES LINEALES DEL CAMBIO DE MEDIDOR

	Pendiente		Constante	
	Antes	Después	Antes	Después
Prom	-0.011 -	0.092	16.1 1	8.3

Para confirmar los resultados del análisis del impacto del cambio de medidor a uno de mayor clase metrológica, se realizó un análisis de varianza entre los promedios de consumo de agua para el último periodo de facturación de los medidores clase B, el primer periodo de los clase C, y el último periodo de referencia de la clase C (UC). Se contrastó la hipótesis nula de igualdad en los promedios de consumo antes y después del cambio de medidor. De acuerdo con los resultados para un nivel de confianza del 95% y con un valor $-p$ de 0.00 se puede rechazar la hipótesis nula de la existencia de diferencias entre las medias para los casos analizados.

En los resultados (Tabla 7) se observa que no existe traslape entre las medias y los intervalos de confianza (IC) estimados, los estadísticos revelan que para el último período del medidor clase B se registró un promedio de 14.68 m³ por mes, mientras que en el primer periodo del medidor clase C se registró un consumo promedio mensual de 15.16 m³, y para el último período registrado del medidor clase C, un promedio mensual de 13.47 m³. Se observó en los resultados que antes del cambio de medidor había un sub-registro del consumo de agua; cuando se realizó el cambio se registraron con mayor precisión los consumos reales, los cuales fueron valores mayores. El resultado parece ser una señal de eficiencia en el uso del agua por parte del usuario.

TABLA 7 ANOVA UNIDIRECCIONAL SEGÚN CLASE MEDIDOR

Clase	Promedio (m ³ /mes)	Desv. Estándar	IC Inferior (m ³ /mes)	IC Superior (m ³ /mes)
B	14.7 9	.2 1	4.6	14.8
C	15.2 1	0.2	15.1 1	5.3
UC 1	3.5	8.9	13.4 1	3.6

Finalmente, para determinar los periodos necesarios para el reajuste del consumo se realizó un análisis de varianza entre el promedio de los últimos registros de consumo de los usuarios con medidor clase B y los periodos 3, 5 y 12 posteriores al cambio a medidor clase C. Los resultados muestran que para un nivel de confianza del 95% y con un valor-p de 0.062 se acepta la hipótesis nula de igualdad de promedios de consumo. Los estadísticos descriptivos muestran que entre el último período de B, registrado antes del cambio, en el tercer período de C, el quinto período de C y el doceavo período del C, no hay diferencias, significativas en los registros de los consumos promedio (ver Tabla 8). Los resultados confirman un reajuste en el consumo en el tercer mes posterior al cambio de medidor.

TABLA 8 ANOVA UNIDIRECCIONAL CLASE DE MEDIDOR Y PERIODO DE CONSUMO

Clase / Periodo	Promedio (m ³ /mes)	Desv. Estándar	IC Inferior (m ³ /mes)	IC Superior (m ³ /mes)
B	14.7 9	.2 1	4.6	14.8
C12	14.8 9	.7 1	4.7	14.9
C3 1	4.9	9.8	14.8 1	5.0
C5 1	4.8	9.5	14.7 1	4.9

IV. CONCLUSIONES

El ritmo de deterioro del parque de medidores es un parámetro importante, pues permite inferir sobre la eficiencia en el tiempo de este tipo de herramientas de control. La TDA es un estimativo de eficiencia, basado en los registros, que se puede utilizar para determinar el desempeño de un parque de medidores, comparar clases metrológicas y marcas de medidores.

La TDA del parque de medidores evaluado es de -2.09 %, es decir los medidores pierden la capacidad de registrar consumos a esta tasa, este valor es considerado alto en la literatura [6].

Con relación a la tasa de desgaste según la clase metrológica, se puede afirmar que los medidores clase C tienen un tasa inferior a los de la clase B, lo que corresponde con la hipótesis inicial que estos últimos son menos robustos o fiables que los de clase C y según lo establecido en las diferentes normas técnicas en términos de precisión de la medición [9].

Las estimaciones de la tasa de desgaste de manera específica para las marcas utilizadas en el parque de medidores, permiten inferir aquella que tiene mayor desgaste y cuál es la de mejor comportamiento o menos desgaste en el tiempo.

El mejoramiento en la clase metrológica de un parque de medidores no implica un aumento en la facturación pero sí es una señal para la mejorar la eficiencia en el uso del agua.

En términos generales este tipo de trabajos permite establecer la precisión del parque de medidores y tomar acciones respecto a la especificación del medidor a utilizar con respecto a su clase metrológica o la marca del mismo.

REFERENCIAS

- [1] Versteeg, N., & Tolboom, J. (2003). Water Resources And Environment Technical Note F.1. (R. Davis, & R. Hirji, Edits.) Washintong, D.C.: The World Bank
- [2] Griffin, R.C. (2006). Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity, Projects and Policy. The MIT Press. ISBN 978-0-262-07267-0
- [3] Arregui F. "Propuesta de una Metodología para el Análisis y Gestión del Parque de Contadores de Agua en un Abastecimiento". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 1998.
- [4] Arregui de la Cruz, F. & García-Serra, J. "Metodología para la evaluación del error de medición de un parque de contadores". Instituto Tecnológico del Agua, Universidad Politécnica de Valencia. 2003.
- [5] Palau, C. "Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión". Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia. 2005.
- [6] Arregui, F., Cabrera, E. & Cobacho, R. "Gestión Integral de Contadores de Agua". Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia. 2007.
- [7] ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC, Medición de agua en conductos cerrados. Medidores para agua potable fría. 1063, 2007.
- [8] Instituto Aragonés de Agua, Gobierno Aragón. La Gestión Avanzada del Parque de Contadores. <http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Organismos/InstitutoAragonesAgua/Documentos/CONTADORES%2011.pdf>
- [9] Arregui, F., García-Serra, J., López, G. & Martínez, J. Metodología para la evaluación 95-66. 1998. Error de medición de un parque de contadores. Revista Ingeniería del Agua. Vol. 5. Num. 4. Pp 55-66. 1998.

Jhoniers Gilbero Guerrero Erazo; Ingeniero Sanitario, Universidad del Valle; Magister en Ingeniería Ambiental, Universidad del Valle; Doctor en Ingeniería, Universidad Técnica de Barlin. Profesor Titular Universidad Tecnológica de Pereira; Decano Facultad de Ciencias Ambientales.

José David López Rivas. Administrador Ambiental, Magister en Economía, pertenece al Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento. Área de desempeño: Investigación en temas de análisis económicos del ambiente y los recursos naturales, evaluación de proyectos y de políticas públicas. Profesor Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.