

Estimación del Tamaño Funcional en la Elicitación de Requerimientos

Mabel Bertolami¹, Alejandro Oliveros²

¹ *Departamento de Informática, Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería, UNPSJB*

² *Departamento de Computación, Facultad de Ingeniería, UBA - Magíster de Ingeniería de Software, Facultad de Informática, UNLP*
mbertolami@gmx.net, oliveros@fibertel.com.ar

Resumen. Disponer de la medición temprana del tamaño del software permite estimar costos y esfuerzo así como planificar la agenda de desarrollo. En trabajos previos se presentó un enfoque que aplica el Análisis de Puntos Función a los Escenarios derivados del Léxico Extendido del Lenguaje. En el proceso de validación de esa propuesta se aplicaron técnicas estadísticas sobre un subconjunto de los datos obtenidos de la medición de varios casos de estudio. En este artículo se presentan el análisis de regresión lineal que permitió establecer un modelo de estimación del tamaño funcional de un conjunto de escenarios y la comprobación de la validez del modelo. Los resultados son alentadores en cuanto a la factibilidad del modelo y sus posibles refinamientos posteriores.

Palabras clave. Escenarios, tamaño funcional, regresión lineal.

1. Introducción

La gestión de los proyectos de desarrollo o mantenimiento de software tiene una importancia fundamental en el nivel económico en las organizaciones [1]. Un aspecto esencial es la adecuada estimación de los costos asociados con el desarrollo de software. Esto ha motivado esfuerzos de investigación orientados a mejorar la comprensión del proceso de desarrollo de software así como a construir y evaluar herramientas de estimación de costos del software [2]. Estimar los factores relacionados con un proyecto (esfuerzo, personal, schedule, costo, etc.) requiere conocer o estimar su tamaño para evaluar las posibles soluciones, comparar alternativas y calcular costos antes de decidir por un enfoque determinado [1]. CMM V1.1 identifica al tamaño como un aspecto crucial para la gestión del proyecto [3].

Una de las más conocidas técnicas para medir el tamaño del software, la medición de las líneas de código fuente producidas (SLOC), requiere disponer del código, lo cual representa una restricción para hacer estimaciones tempranas. El Análisis de Puntos Función (FPA) provee un enfoque alternativo pues permite estimar el tamaño del software basándose en los requerimientos [4]. La cantidad de SLOC se puede estimar desde el tamaño en Puntos Función (FP) [5].

En [6] y [7] se presentó la medición de FP en productos de la Elicitación midiendo los

FP de los escenarios producidos con el enfoque del Léxico Extendido del Lenguaje y Escenarios (L&E) de [8]. La principal contribución de esta medición es estimar el tamaño del sistema a desarrollar en las etapas previas a obtener los requerimientos.

La aplicación del enfoque permite medir el *tamaño funcional* y dicha medida se puede utilizar en otras estimaciones que dependen del tamaño. Sin embargo, ¿se puede anticipar aún más la estimación de los FP? ¿es posible estimar los FP de los escenarios antes de completar el proceso de medición establecido? Uno de los objetivos de esta investigación es estudiar la posibilidad de establecer un modelo de estimación del *tamaño funcional* de los escenarios sin ejecutar todo el proceso de medición de FP. Si esta alternativa fuera posible se podría evitar el costo de realizar el proceso completo.

A partir de la medición de los FP de un grupo de casos se generó un conjunto de datos y un subconjunto se analizó estadísticamente. El análisis de regresión lineal sobre los datos de las mediciones permitió describir un modelo de estimación del tamaño del sistema en FP. Se evaluó la confiabilidad del modelo mediante pruebas estadísticas (coeficientes de correlación y determinación, análisis de varianza, prueba de hipótesis) con resultados satisfactorios. El modelo lineal representa una primera aproximación al problema quedando abierta la posibilidad de otros ajustes en la medida que se encuentre un modelo no lineal más adecuado.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan las propuestas relacionadas, en la sección 3 se presenta la medición de funcionalidad de los escenarios aplicando un enfoque basado en el FPA, en el punto 4 se desarrolla el modelo de estimación basado en el análisis estadístico de los datos de mediciones de FP y en el punto 5 se describen las conclusiones y futuras investigaciones.

2. Propuestas relacionadas

Los trabajos relacionados estiman el tamaño de artefactos de software a partir de mediciones sobre artefactos previamente construidos, en especial los que en términos generales tratan de medir los FP lo más temprano posible y convertirlos a otra métrica de tamaño de artefactos producidos posteriormente, como es el caso de las SLOC [9].

COCOMO II es un modelo para estimar costos y cronogramas de proyectos de desarrollo que en su fase de Diseño Inicial utiliza el tamaño como entrada. Para estimar el tamaño determina los FP y luego los convierte en SLOC mediante tablas de equivalencias según el lenguaje a utilizar en la etapa de codificación [5].

Los FP también han sido utilizados como entrada en los modelos de estimación por analogía del esfuerzo de un proyecto [10]. Por otro lado, la mayoría de los modelos de costos (COCOMO II, SLIM, Checkpoint, etc.) usan técnicas basadas en regresión debido a su simplicidad y amplia aceptación [11].

En nuestro caso investigamos la posibilidad de estimar los FP que corresponden a un artefacto producto del proceso de Elicitación de Requerimientos.

3. Medición de funcionalidad de los Escenarios

3.1. Léxico Extendido del Lenguaje y Escenarios

L&E constituye un enfoque del proceso de Elicitación de Requerimientos de un sistema de software. El Léxico Extendido del Lenguaje (LEL) y los Escenarios utilizan

descripciones en lenguaje natural, lo que facilita la validación con el usuario. El propósito del LEL es conocer la semántica del vocabulario de la aplicación, posponiendo la comprensión del problema. El objetivo es registrar palabras o frases que son peculiares para el dominio. Cada entrada se compone de Noción e Impacto [12]. Los escenarios se usan para entender la aplicación y su funcionalidad: cada escenario describe una situación específica de la aplicación centrando la atención en su comportamiento. Los escenarios se derivan del LEL aplicando heurísticas específicas. Un escenario (Figura 1) se compone de: Nombre, Objetivo, Contexto, Recursos, Actores, Episodios, Excepciones, Restricciones. Actores y Recursos consisten en una enumeración. Título, Objetivo, Contexto y Excepciones representan sentencias declarativas. Los Episodios son sentencias expresadas en lenguaje simple que describen operacionalmente el comportamiento [8].

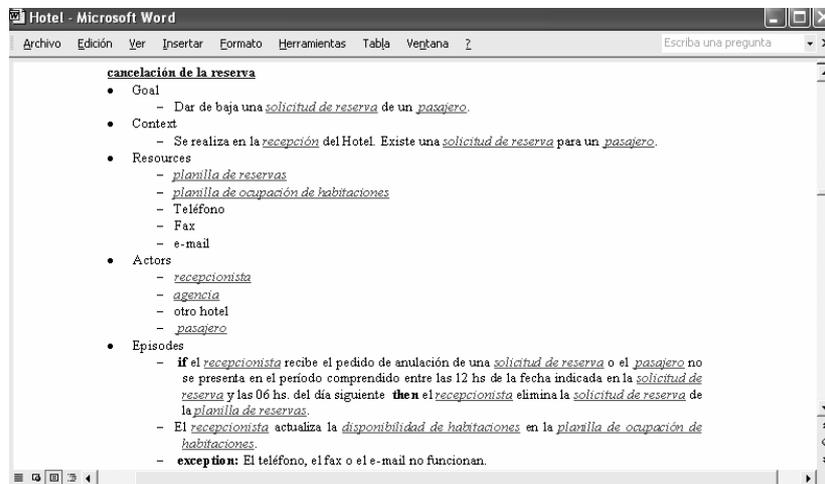


Figura 1. Texto RTF generado por BMW [13] para un escenario de la Recepción [14]

3.2. Análisis de Puntos Función

El FPA mide el tamaño del software cuantificando la funcionalidad provista al usuario basándose solamente en el diseño lógico y las especificaciones funcionales [15].

El método MarkII FPA desarrollado por Symons mide el *tamaño funcional* de cualquier aplicación de software que pueda describirse en términos de *transacciones lógicas*. El *tamaño funcional* de una aplicación resulta de sumar los tamaños funcionales de cada *transacción lógica* [4].

Considerando los fundamentos del método MarkII [16], se estableció un enfoque de medición de FP de los escenarios generados en el marco de L&E y se definió un conjunto de reglas que soportan el proceso de medición [6], [17]. En la secuencia de ejecución de medición del *tamaño funcional* de los escenarios [17] las etapas son:

1. *Punto de vista y propósito de la medición.* Se establecen el propósito (usar los FP para estimar costo, esfuerzo y agenda) y el punto de vista del usuario.

2. *Límite del sistema.* Incluye todos los escenarios que representan la funcionalidad del sistema desde la visión del usuario. Los escenarios se descomponen en todos sus *episodios* obteniendo el conjunto de *episodios totales*.
3. *Identificación episodios.* Cada *episodio* del conjunto de *episodios totales* se evalúa según los criterios establecidos por las reglas, así se detectan los *episodios* que se consideran relevantes para la medición de FP. Estos *episodios* forman el conjunto de *episodios netos*, los restantes *episodios* forman el conjunto de *episodios descartados*. Los FP se calculan considerando los *episodios netos*.
4. *Descomposición episodios.* Por cada *episodio neto* se determinan los ítems que contribuyen al *tamaño funcional*, esto requiere reconocer los componentes Entrada-Proceso-Salida del *episodio*. En los componentes Entrada y Salida se identifican los *tipos de elementos dato (DET)* y en el componente Proceso los *recursos referenciados* [6], [17].
5. *Contabilización DET y recursos referenciados.* Por cada *episodio neto* se contabilizan las contribuciones de los ítems identificados en cada componente según lo establecen las reglas. La sumatoria de las contribuciones de cada componente determina los FP de cada *episodio neto*.
6. *Determinación tamaño funcional.* A partir de la sumatoria de los FP de todos los *episodios netos* se obtienen los FP del sistema.

4. Análisis estadístico de los datos de mediciones de FP

4.1. Datos de las mediciones

La técnica descrita en 3.2 se aplicó al L&E de los casos: *Plan de ahorro* [18]; *Recepción* [14]; *Pasaporte* [19]; *Meeting Scheduler* [20]; *Banco de sangre* [21]; *Estación de servicio* [22]; *L&E del L&E* [23]. Los datos obtenidos se asignaron a dos grupos diferentes:

1. cantidad de escenarios, *episodios totales*, *descartados* y *netos*.
2. cantidad de *DET* y *recursos referenciados* identificados en los componentes de cada *episodio* y que derivan en la medida de FP.

Los conjuntos de datos generados pueden analizarse en dos niveles: *intracaso* o *intercaso*. Este trabajo se orienta al segundo de ellos. El objetivo es describir un modelo de estimación basándose en ecuaciones matemáticas. Específicamente se propone el análisis estadístico de los datos obtenidos en el proceso de medición. La Tabla 1 resume los valores resultantes de las mediciones.

Caso	Total Escenarios	Total Episodios	Episodios Netos	FP
Plan de ahorro	18	54	23	79
Recepción	10	64	18	103
Pasaporte	24	226	27	125
Meeting Scheduler	16	109	34	149
Banco de sangre	14	84	45	180
Estación de servicio	26	231	49	268
L&E del L&E	64	277	119	437

Tabla 1. Datos de la medición de FP

4.2. Análisis de la relación Episodios netos – FP

En esta sección se analizan los pares de valores *episodios netos (EN) - FP*, a fin explorar la relación que presumiblemente existe entre ambas variables. El *análisis de regresión* es una técnica estadística para el modelado y la investigación de la relación entre dos o más variables [24]. La regresión lineal se usa para predecir el estado de una variable dependiente a partir del valor de una variable predictor (variable independiente).

Dados n pares de observaciones $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$, cada par se puede representar como un punto de coordenadas (x_i, y_i) en un *diagrama de dispersión*. La Figura 2 presenta el diagrama de dispersión que permite visualizar la distribución de los puntos dato *EN - FP* correspondientes a los siete casos.

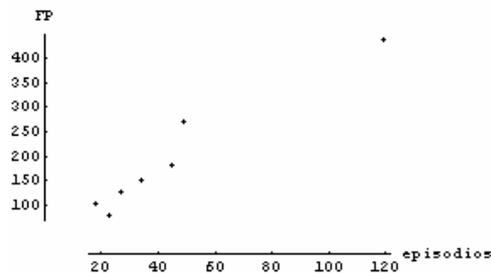


Figura. 2. Diagrama de dispersión para los pares de datos EN - FP de la Tabla 1

Nota: Para el *análisis de regresión* y los gráficos se utilizó el software *Mathematica Versión 4.2* [25].

Si la relación entre x e y es lineal, el valor de y por cada valor de x se representa por:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + e \quad (1)$$

siendo β_0 y β_1 : *coeficientes de regresión*, β_0 corresponde a la intersección con el eje y , β_1 es la pendiente de la recta y e se asume que es un error con media 0 y varianza (σ^2) desconocida [24].

La estimación de los parámetros β_0 y β_1 en la ecuación (1) minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones verticales. Este criterio, denominado *método de los mínimos cuadrados* [24], permite obtener los estimadores $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$. La línea de regresión estimada es: $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$.

Cada par de observaciones satisface $y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i + e_i$, $i = 1, 2, \dots, n$ donde $e_i = y_i - \hat{y}_i$ se llama *residuo* y describe el error en el ajuste del modelo para la i -ésima observación y_i [24].

Mediante las funciones del módulo *Statistics "Linear Regression"* de *Mathematica* se obtiene la recta de mejor ajuste para el conjunto de datos.

La Figura 3¹ presenta la recta de regresión ajustada para el conjunto de pares de valores y las desviaciones verticales se indican con barras verticales desde cada punto dato hasta la recta de regresión.

¹ Se omite el *análisis de regresión* pues a continuación se propone un análisis alternativo.

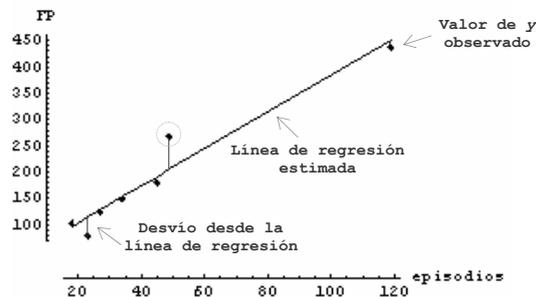


Figura 3. Recta de regresión ajustada para el conjunto de 7 pares de datos EN – FP

El par (49, 268) señalado con un círculo (Figura 3) se destaca por su dispersión con respecto a la recta ajustada. Éste corresponde al caso “Estación de servicio”, en el cual varios *episodios* referencian la tecnología a utilizar, resultando en un aporte mayor de FP comparado con los otros casos. Si bien esto no es una limitación de la técnica pues en etapas posteriores tenderá a equilibrarse, a primera vista se presenta como un caso particular. Descartada la modificación del L&E, por el criterio de respetar la versión original, se decidió omitir el caso y ajustar la recta de regresión considerando los restantes seis pares de datos. La Tabla 2 muestra los resultados del *análisis de regresión* lineal para ese conjunto de datos.

```

regresion_lineal_1.nb *
Out[11]= {ParameterTable -> 1
          Estimate SE TStat PValue
          x 25.6208 10.4332 2.45569 0.0700151
          x 3.45592 0.185775 18.6027 0.0000491503
RSquared -> 0.988573, AdjustedRSquared -> 0.985717, EstimatedVariance -> 246.12,
ANOVA Table ->
  Model 1 85172.4 85172.4 346.061 0.0000491503
  Error 4 984.478 246.12
  Total 5 86156.8
FitResiduals -> {15.1726, -26.107, 6.06932, 5.87786, -1.13728, 0.124474},
SinglePredictionCITable -> 125.
  Observed Predicted SE CI
  103. 87.8274 17.6372 {38.8586, 136.796}
  79. 105.107 17.4025 {56.7899, 153.424}
  149. 143.122 17.0536 {95.7738, 190.47}
  180. 181.137 16.9456 {134.089, 228.186}
  437. 436.876 21.8986 {376.075, 497.676}
ParameterCITable -> 1
  Estimate SE CI
  x 25.6208 10.4332 {-3.34649, 54.5881}
  x 3.45592 0.185775 {2.94013, 3.97172}
  
```

Tabla 2. Reporte del *análisis de regresión* para $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i$ en Mathematica

Descripción de la Tabla 2 [25]

ParameterTable

- *Estimate*: valor estimado de los *coeficientes de regresión* β_0 y β_1

- SE : error estándar estimado para β_0 : $SE(\hat{\beta}_0) = \sqrt{\sigma^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{S_{xx}} \right]}$ y β_1 : $SE(\hat{\beta}_1) = \sqrt{\frac{\sigma^2}{S_{xx}}}$, siendo

$$S_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

- $TStat$: estadístico t . Algunos problemas requieren decidir si se debe aceptar o rechazar una sentencia acerca de algún parámetro. La sentencia se denomina *hipótesis* y el procedimiento para decidir acerca de la hipótesis se denomina *prueba de hipótesis* [24]. Ésta considera una *hipótesis nula* (H_0) y una *hipótesis alternativa* (H_1). H_0 es una hipótesis particular que se intenta probar y H_1 define otras condiciones factibles y distintas a la que se intenta probar.
- $PValue$: en la *prueba de hipótesis*, rechazar H_0 cuando es verdadera se define como *error de tipo I*. La probabilidad de cometer un *error de tipo I* se denota por α . La probabilidad del *error de tipo I* se llama *nivel de significancia* o *error α* . $P-Value$ es el menor *nivel de significancia* que podría llevar a rechazar H_0 con un dato dado. Se calcula comparando el estadístico obtenido con la distribución t para $n - p$ grados de libertad, siendo n el tamaño de la muestra y p la cantidad de predictores.
- $RSquared$: *coeficiente de determinación* R^2 (cuadrado del *coeficiente de correlación*).
- $AdjustedRSquared$: *coeficiente de determinación ajustado*: $\bar{R}^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) (1 - R^2)$
- $EstimatedVariance$: media de los cuadrados de los *residuos*.

$ANOVA$ Table: tabla de *análisis de varianza*, compara el modelo de regresión con el modelo representado por los datos. Se usa para probar la *significancia* de la regresión.

- DF : grado de libertad, expresa, para un parámetro determinado, el número de datos efectivamente disponibles para evaluar la cantidad de información contenida en este parámetro.
- $SumOfSq. Model$: suma de los cuadrados de la diferencia entre los valores estimados por el modelo y la media de los valores observados. $Error$: suma de los cuadrados de los *residuos*.
- $MeanSq$: media de los cuadrados debidos al modelo ($Model$) y a los *residuos* ($Error$). Esta última también representada por $EstimatedVariance$. Para calcular la media de los cuadrados de los *residuos* se divide la suma de los cuadrados de los *residuos* por sus grados de libertad.
- $FRatio$: compara los dos modelos usando la razón de las medias de los cuadrados en la columna $MeanSq$. El valor F se usa en la *prueba de hipótesis*.

$FitResiduals$: diferencia entre los valores observados y estimados por el modelo.

$SinglePredictionCI$ Table: cada fila de la tabla representa el *intervalo de confianza* para predecir un valor correspondiente a la variable predictor. En este caso el nivel de confianza es de 0.95.

$ParameterCI$ Table. CI : *intervalos de confianza* para los coeficientes estimados β_0 y β_1 basados en la distribución t . Obsérvese que 0 es un valor posible para β_0 ([-3.34649, 54.5881]) por lo que la recta podría pasar por el origen, aunque éste se encuentra fuera del intervalo de experimentación de los *episodios netos* ([18, 119]).

Modelo de regresión lineal. La Figura 4 presenta la recta de regresión $\hat{y} = 25.6208 + 3.45592x$ junto con los puntos dato (no incluye los datos del caso “Estación de servicio”). Para este análisis x representa EN e \hat{y} el valor estimado de FP . En el resto del texto se referirá a x e \hat{y} considerando el significado mencionado.

Hacer inferencias a partir un modelo de regresión lineal requiere métodos estadísticos apropiados. La validez de las inferencias depende que se satisfagan ciertos supuestos, basados en que la distribución de los errores es normal, con media 0 y varianza constante. Además se supone que el modelo lineal es correcto, esto es, el fenómeno real tiene un comportamiento lineal [24].

La relación entre las variables modeladas mediante la recta de regresión sólo es válida dentro del rango de experimentación, es decir fuera de ese rango disminuye la certeza

acerca de la validez del modelo asumido. Los modelos de regresión no son necesariamente válidos para propósitos de extrapolación [24]. En este caso no se deberían extender las estimaciones de FP fuera del rango [18, 119] *episodios netos*.

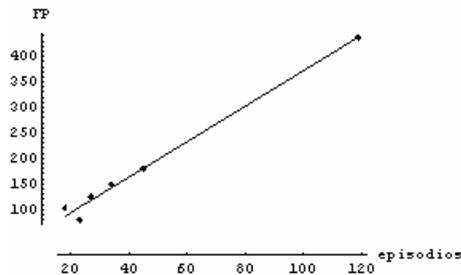


Figura 4. Recta de regresión ajustada

4.3. Evaluación de la idoneidad del modelo de regresión lineal

Estimación de la varianza. Una forma de verificar la relación entre x y y es conocer cuánto varía y para un valor dado de x , es decir, se requiere conocer el valor de la varianza (σ^2) que mide la variabilidad de los valores de y alrededor de la línea de *mínimos cuadrados*. La varianza se puede estimar a partir de la suma de los cuadrados de los errores. Del *análisis de regresión* (Tabla 2) se obtiene $s^2 = 246.12$ (s^2 es la varianza muestral y σ^2 la de la población), luego $s = 15.6882$. Se puede esperar que la mayoría de las observaciones estén comprendidas dentro de $2s$ de sus respectivos valores estimados [26]. La Figura 5 presenta la recta de regresión y cada punto dato con la barra correspondiente a $\pm s$, donde se verifica el supuesto antes enunciado.

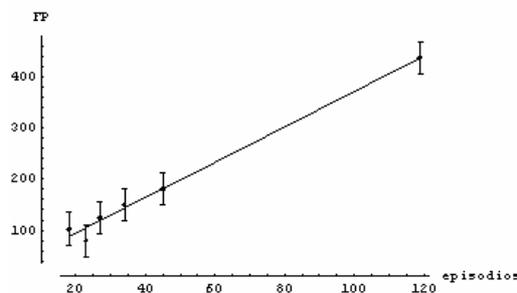


Figura 5. Recta de regresión con los puntos dato y la barra correspondiente a $\pm s$

Prueba de hipótesis. Para determinar si el modelo lineal es una herramienta confiable para estimar y desde un valor dado de x se puede usar un procedimiento estadístico - *prueba de hipótesis o intervalos de confianza*- [26].

Sea el modelo $y = \beta_0 + \beta_1 x + e$, donde e es el error y se considera que tiene una distribución normal con media 0 y varianza σ^2 . Si x e y no están relacionadas, para que y sea independiente de x , la pendiente β_1 de la recta debe ser igual a 0. Para probar la *hipótesis nula* tal que x no contribuye con información para la predicción de y frente a la alternativa que esas variables están linealmente relacionadas, se debe demostrar:

$$H_0: \beta_1 = 0, H_1: \beta_1 \neq 0$$

Para ello se utiliza el estadístico t cuyo valor es 18.6027 ($TStat$, Tabla 2). Este valor debe compararse con el valor crítico obtenido desde tablas. Esto está representado por el valor P ($PValue$, Tabla 2). En este caso $n = 6$ y $p = 2$. Esta pérdida de dos grados de libertad se explica porque los *coeficientes de regresión* β_0 y β_1 deben reemplazarse por sus estimaciones de *mínimos cuadrados*. Generalmente un valor $P < 0.05$ es una evidencia para rechazar la *hipótesis nula*, lo que implica aceptar la *hipótesis alternativa*, es decir, la pendiente es distinta de cero [26]. En este caso $P = 0.0000491503$.

También el estadístico F ($FRatio$, Tabla 2) puede utilizarse la probar la *hipótesis nula*. En este caso $F = 346.061$ para el cual $P = 0.0000491503$. El valor de P para el estadístico F es un indicador de la baja probabilidad de que sea verdadera la hipótesis H_0 , o lo que es lo mismo, es el argumento para rechazarla, lo que implica que existe una relación lineal entre x e y . Ambos procedimientos, la prueba mediante los estadísticos t y F , conducen a las mismas conclusiones.

Coefficiente de correlación. Otra forma de medir la “fuerza” de la relación lineal entre x e y es calcular el *coeficiente de correlación* R . Los valores de R siempre están comprendidos entre -1 y 1. Un valor de R próximo o igual a 0 significa poca o ninguna relación lineal entre x e y . Para el conjunto de pares $EN - FP$ su valor es $R = 0,99427029$. Debe tenerse en cuenta que una alta correlación no implica causalidad, la única conclusión válida es que puede existir una relación lineal entre x e y [26].

Coefficiente de determinación. Una medida alternativa de adecuación a los datos de la recta ajustada por *mínimos cuadrados* es el *coeficiente de determinación* R^2 ($RSquared$, Tabla 2). Este coeficiente valora cuánto se pueden reducir los errores de predicción de y usando la información provista por x . Su valor es R^2 , en consecuencia siempre está comprendido entre 0 y 1. El *coeficiente de determinación* cuantifica la variación del error cuando se usa la ecuación de *mínimos cuadrados* para estimar y en lugar de la media \bar{y} . En este caso su valor es $R^2 = 0.988573$, lo que significa que el error de predicción al usar el modelo lineal se reduce en un 98.86%.

Los resultados obtenidos al aplicar los criterios estadísticos recomendados para evaluar un modelo de regresión permiten concluir que el modelo lineal adoptado resulta adecuado para el rango comprendido entre 18 y 119 *episodios netos*.

	Observed	Predicted	SE	CI
	103.	97.1583	37.1556	{1.6469, 192.67}
	79.	114.642	36.6406	{20.4545, 208.83}
	125.	128.629	36.3004	{35.3163, 221.942}
SinglePredictionCITable ->	149.	153.107	35.864	{60.9154, 245.298}
	180.	191.571	35.6014	{100.055, 283.088}
	268.	205.559	35.6363	{113.953, 297.164}
	437.	450.333	46.0091	{332.063, 568.604}

Tabla 3. Reporte del *análisis de regresión* incluyendo el caso Estación de servicio

La Tabla 3 presenta una vista parcial de los resultados obtenidos en *Mathematica* incluyendo los siete casos. Un breve análisis comparativo con los resultados de la Tabla

2 evidencia que R^2 es menor (0.940357) y que los intervalos son más amplios, lo que refleja el impacto al considerar el caso “Estación de servicio”. Luego de verificar estadísticamente la validez del modelo lineal se usará para estimación [26].

4.4. El uso del modelo para estimación de los FP

Si x_0 es el valor del predictor de interés, entonces $\hat{y}_0 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_0$ es el estimador del valor futuro [24]. Es decir, dado un valor particular de EN , se puede estimar el valor de FP mediante el modelo $FP = 25.6208 + 3.45592 EN$.

Los *intervalos de confianza* (o *intervalos de predicción*) proporcionan un rango de valores dentro de los cuales se espera que una futura observación esté comprendida con una cierta probabilidad (o confianza). La columna CI de la Tabla 2 presenta los *intervalos de confianza* con nivel de confianza del 95% para los puntos dato. La Figura 6 incluye los puntos dato de la medición, la recta de regresión y los *intervalos de confianza* en líneas punteadas.

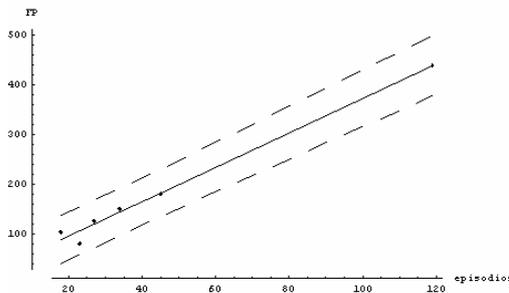


Figura 6. Recta e intervalos de confianza para el modelo de regresión lineal

En general la amplitud de los *intervalos de confianza* aumenta a medida que los valores de x se alejan del valor medio (\bar{x}). Debe notarse que los intervalos son relativamente amplios y esto puede atribuirse a la escasa cantidad de datos de las mediciones. El *intervalo de confianza* se estima mediante la siguiente fórmula [26]:

$$\hat{y} \pm (t_{0.025}) s \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{S_{xx}}}$$

s : desviación estándar.
 t : estadístico t para $\alpha = 0.05$, 4 grados de libertad (6-2); t puede obtenerse desde tablas estadísticas [24].
 α : nivel de significancia, se relaciona con el grado certeza requerido para rechazar H_0 en favor de H_1 . Para $\alpha = 0.05$ la probabilidad de rechazar incorrectamente H_0 es del 5%.

$$t_{\alpha/2=0.025} = 2.776 \text{ [24]}, s = 15.6882, n = 6, \bar{x} = 44.33333, S_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 7131.33333$$

Reemplazando en la fórmula: $\hat{y} \pm 2.776 * 15.6882 \sqrt{1 + \frac{1}{6} + \frac{(x - 44.33333)^2}{7131.33333}}$

Ejemplo: estimación de los FP e intervalo

$$EN = 49, \hat{y} = 25.6208 + 3.45592 * 49 = 194.961 FP$$

Aplicando la fórmula para estimar el intervalo se obtiene 194.961 ± 47.1014 , cuyo resultado es [148, 242]. La “Estación de servicio” tiene 49 EN y aunque se descartó del *análisis de regresión*, la estimación de FP no resulta muy distinta del valor medido (268).

5. Conclusiones y trabajos futuros

A partir de la medición del *tamaño funcional* de los escenarios se describió un modelo de estimación de los FP de un sistema utilizando el *análisis de regresión*. Se revisó la idoneidad del modelo según las prácticas recomendadas en la bibliografía. El valor del *coeficiente de correlación* (0.99) indica una fuerte relación lineal entre los datos y el *coeficiente de determinación* indica que el error de estimación se reduce el 98.86% al usar el modelo lineal. El *análisis de varianza* permite verificar que la mayoría de las observaciones están comprendidas dentro de \pm una desviación estándar de los respectivos valores estimados por la recta de regresión. La *prueba de hipótesis* también confirma la validez del modelo adoptado. Se puede concluir que el modelo lineal resulta adecuado para los datos disponibles.

El pequeño número de mediciones representa una restricción para afirmar que este modelo resultará conveniente en todos los casos, de todas maneras el esquema de análisis se replicará cuando se disponga de datos de más casos. Los resultados son alentadores pues aparecen relaciones interesantes que deberán confirmarse o ajustar en el futuro. Es necesario reiterar que las estimaciones sólo serán posibles en el rango que se aplicó el *análisis de regresión*, es decir, entre 18 y 119 *episodios netos*.

La principal conclusión es que, si es válido el modelo propuesto, se puede estimar el tamaño de una aplicación en una etapa muy temprana del desarrollo a partir de L&E. Disponer de esta medida en FP permite hacer estimaciones de esfuerzo, costo, personal y agenda del proyecto.

Por otro lado, el análisis de los casos estudiados no sugiere la existencia de una relación entre la cantidad de escenarios y los FP. Existen casos con pocos escenarios y muchos episodios e inversamente y podría suponerse que esta característica es dependiente de la naturaleza de la aplicación.

Entre los temas futuros de investigación relacionados figuran evaluar modelos no lineales y la posibilidad de establecer un modelo de estimación a partir de los *episodios totales*. Esto último permitiría agilizar notablemente la estimación de FP. Por otra parte se debe avanzar en el análisis de los datos “internos” de cada caso a fin de descubrir relaciones entre los ítems que componen los *episodios*.

Este trabajo forma parte de una propuesta más amplia que incluye: aplicar el cálculo de FP a mayor cantidad de casos para mejorar las estimaciones, investigar la posibilidad de adaptar la propuesta al enfoque IFPUG, construir una herramienta CASE que soporte el proceso y medir el esfuerzo requerido por el proceso de contabilización de FP sobre L&E.

Referencias

- [1] Grant Rule, P., “The Importance of the Size of Software Requirements”, Software Measurement Services, *NASSCOM Conference*, India, 2001.
- [2] Kemerer, C., “An Empirical Validation of Software Cost Estimation Models”, *Communications of the ACM*, Mayo 1987.

- [3] Paulk, M., Curtis, B., Chrissis, M., Weber, C., *Capability Maturity Model for Software*, Version 1.1, Technical Report CMU/SEI-93-TR-024 ESC-TR-93-177, Feb. 1993.
- [4] Symons, C., *Software sizing and estimating MKII FPA*, John Wiley and Sons, 1991.
- [5] Boehm, B., Abts, C., Clark, Devnani-Chulani, B., *COCOMO II Model Definition Manual*, V1.4, University of California, 1997.
- [6] Bertolami, M., Una propuesta de Análisis de Puntos Función aplicado a LEL y Escenarios, Tesis del Magister en Ingeniería de Software presentada a la Facultad de Informática de la UNLP, 2003.
- [7] Bertolami, M., Oliveros, A., "Análisis de Puntos Función en la elicitación de requerimientos", *Proceedings 6th Workshop on Requirements Engineering*, Piracicaba, Brasil, 2003.
- [8] Leite, J., Hadad, G., Doorn, J., Kaplan, G., *A Scenario Construction Process*, Requirements Engineering Journal, 2000.
- [9] Fenton, N., Pfleeger, S.L., *Software Metrics. A rigorous & Practical Approach*, PWS Publishing, 1997.
- [10] Jeffery, R., Walkerden, F., Analogy, regression and other methods for estimating effort and software quality attributes, en Kusters, B., Cowderoy, A., Heemstra, F., van Veenendaal, E. (eds), *Project Control for Software Quality*, Shaker Publishing, 1999.
- [11] Boehm, B., Abts, C., Chulani, S., *Software Development Cost Estimation Approaches - A Survey*, 2000.
- [12] Leite J., Rossi G., et al, "Enhancing a Requirements Baseline with Scenarios", *Proceedings of RE 97' International Symposium on Requirements Engineering*, IEEE, 1997.
- [13] Antonelli, L., Rossi, G., Oliveros A., *Baseline Mentor, An Application that Derives CRC Cards from Lexicon and Scenarios*, LIFIA, Facultad de Informática, UNLP, Argentina, 1999.
- [14] Bertolami, M., Centeno, E., LEL y Escenarios de la Recepción del Hotel, Caso de estudio desarrollado en el marco del Magister en Ingeniería del Software, UNLP, 2001.
- [15] International Function Point Users Group, *Frequently Asked Questions*, 2000.
- [16] *MKII Function Points Analysis Counting Practices Manual*, Versión 1.3.1, UKSMA (United Kingdom Software Metrics Association), 1998.
- [17] Bertolami, M., Oliveros, A., "Proceso de medición de funcionalidad en la Elicitación de Requerimientos", *Proceedings 7º Workshop Iberoamericano de Ingeniería de Requisitos y Ambientes Software*, IDEAS2004, Arequipa, Perú, 2004.
- [18] Mauco, V., Ridao, M., del Fresno, M., Rivero, L., Doorn, J., Proyecto Sistema de Planes de Ahorro, Facultad de Ciencias Exactas, UNICEN, 1997.
- [19] Leite, J., Oliveros, A., Rossi, G., Balaguer, F., Hadad, G., Kaplan, G., Maiorana, V., Léxico extendido del lenguaje y escenarios del sistema nacional para la obtención de pasaportes, Universidad de Belgrano, 1996.
- [20] Hadad, G., Kaplan, G., Leite, J., Léxico extendido del lenguaje y escenarios del Meeting Scheduler, Technical Report #13, Departamento de Investigación, Universidad de Belgrano, Buenos Aires, 1998.
- [21] Gil, G., Arias Figueroa, D., Oliveros, A., "Producción del LEL en un Dominio Técnico. Informe de un caso", WER2000, Rio de Janeiro, Brasil, 2000.
- [22] Esteban, N., Heidanowski, A., LEL y Escenarios de una Estación de servicio, Trabajo Final de Tópicos I, U. N. L. P., 1998.
- [23] García, O., Gentile, C., LEL y Escenarios de LEL y Escenarios, Trabajo final de grado, Facultad de Ciencias Exactas, UNICEN, <http://usuarios.arnet.com.ar/ogarcia/bibliogr.htm>, 2000.
- [24] Montgomery, Runger, *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería.*, 3ª.Ed., Mc. Graw Hill, 1996.
- [25] *Matemática 3.0 Standard Add-on Packages*, Wolfram Research, Cambridge University Press, 1996.
- [26] Sincich, *Statistics by example*, 5ª Ed., Macmillan Publishing Company, 1993