

Estimación de esfuerzo y costo con COCOMO

Equipo de desarrollo

3 de noviembre de 2025

1. Contexto del proyecto

El sistema de gestión de seguros se desarrolla con Electron siguiendo una arquitectura MVC (Model-View-Controller). El alcance actual considera controladores, modelos y vistas para autenticación, catálogos, clientes, pólizas, recibos y documentos. El objetivo de este documento es dejar trazabilidad de los supuestos y resultados de la estimación de esfuerzo y costo aplicando el modelo COCOMO (Constructive Cost Model) básico.

2. Datos de entrada

Se realizó un conteo de líneas de código (LOC, por sus siglas en inglés) con la utilería `wc -l` sobre los directorios de trabajo (`controllers`, `models` y `views`), excluyendo dependencias externas. Los resultados se resumen en la Tabla 1.

Componente	LOC (líneas de código)
Controladores	3 480
Modelos	2 374
Vistas	2 877
Total	8 731

Cuadro 1: Conteo aproximado de líneas fuente entregables.

El conteo total equivale a $KLOC = 8,731$ (miles de líneas de código). El código HTML (HyperText Markup Language) y CSS (Cascading Style Sheets) de las vistas se consideró parte del producto entregable al cliente interno, por lo que se incluye en el cálculo.

2.1. Puntos funcionales

Además del conteo en líneas, se catalogaron 15 puntos funcionales (PF, *Functional Points*) a partir de los requerimientos documentados: autenticación, gestión de clientes, pólizas, recibos, catálogos, auditoría y documentos. La sección 7 detalla la valoración de los factores de influencia asociados a estos PF.

3. Selección del modo COCOMO

Se elige el modo *orgánico* del COCOMO básico por las siguientes razones:

- El alcance descrito en *ESPECIFICACIONES_COMPLETAS.md* se limita a operaciones CRUD (Create, Read, Update, Delete) locales para un corredor de seguros, sin integraciones externas ni requisitos de escalamiento.
- El proyecto presenta características de baja complejidad con requerimientos estables y bien definidos. El ambiente de desarrollo es familiar y no se requiere innovación significativa.
- El sistema se desplegará en una sola estación de trabajo y se anticipa una comunicación directa con el usuario final, característica prevista en el modo orgánico.
- El tamaño del proyecto (8.731 KLOC) se encuentra dentro del rango típico para proyectos orgánicos (2-50 KLOC según la literatura).

Los coeficientes empleados son los propuestos por Boehm para dicho modo: $a = 2,4$, $b = 1,05$, $c = 2,5$ y $d = 0,38$.

4. Resultados

4.1. Escenario óptimo según COCOMO

El modelo COCOMO calcula primero el escenario óptimo de desarrollo, que minimiza costos y maximiza eficiencia.

El esfuerzo total estimado en meses-persona (PM) es

$$E = a \times (KLOC)^b = 2,4 \times (8,731)^{1,05} = 23,35 \text{ PM.}$$

El tiempo de desarrollo óptimo en meses resulta de

$$T = c \times (E)^d = 2,5 \times (23,35)^{0,38} = 8,28 \text{ meses.}$$

El tamaño óptimo del equipo requerido es

$$P = \frac{E}{T} = \frac{23,35}{8,28} = 2,82 \text{ personas.}$$

Interpretación: COCOMO recomienda un equipo de **2.82 personas** trabajando durante **8.28 meses** como la configuración óptima para este proyecto.

4.2. Ajuste según recursos disponibles

El equipo real disponible está conformado por **4 desarrolladores** a tiempo completo. Con esta configuración, el tiempo de desarrollo ajustado sería:

$$T_{\text{ajustado}} = \frac{E}{P_{\text{disponible}}} = \frac{23,35}{4} = 5,84 \text{ meses.}$$

Esto representa una aceleración del 29 % respecto al tiempo óptimo (de 8.28 a 5.84 meses), lo cual es razonable y no genera sobrecarga excesiva de comunicación o coordinación.

Para referencia, con una sola persona dedicada, el desarrollo implicaría aproximadamente 23,35 meses de trabajo.

4.3. Costo estimado

Para valorar el costo se asume un estipendio de \$20 000 MXN (pesos mexicanos) por mes-persona acorde a un equipo estudiantil que opera en un entorno local, sin costos corporativos adicionales. Con este supuesto el costo directo estimado es

$$C = E \times 20\,000 = \$467\,045 \text{ MXN} \\ \approx \$27\,473 \text{ USD (dólares estadounidenses) (@ 1 USD = 17 MXN).}$$

Nota: El costo total se mantiene constante (23.35 personas-mes) independientemente de si se usan 2.82 o 4 personas, ya que representa el esfuerzo total necesario.

Indicador	Escenario óptimo	Escenario real (4 personas)
Esfuerzo total	23.35 PM	23.35 PM
Duración	8.28 meses	5.84 meses
Tamaño del equipo	2.82 personas	4 personas
Costo estimado	\$467045 MXN	\$467045 MXN

Cuadro 2: Comparación entre el escenario óptimo calculado por COCOMO y el escenario ajustado con recursos disponibles.

5. Limitaciones de escalabilidad: Ley de Brooks

Es importante comprender que **no se pueden agregar personas indefinidamente** para acelerar el desarrollo. Frederick Brooks estableció en su obra *The Mythical Man-Month* que:

“Agregar más personas a un proyecto de software retrasado, lo retrasa aún más.”

5.1. Factores limitantes

Existen tres factores principales que limitan la escalabilidad del equipo:

1. **Sobrecarga de comunicación:** El número de canales de comunicación crece como $n(n - 1)/2$, donde n es el número de personas. Con 4 personas hay 6 canales; con 8 personas, 28 canales.
2. **Tareas secuenciales:** No todas las tareas pueden paralelizarse. Algunas actividades (análisis de requerimientos, diseño de arquitectura, integración) son inherentemente secuenciales.
3. **Tiempo de *ramping*:** Nuevos miembros requieren tiempo para familiarizarse con el código, procesos y dominio del problema, reduciendo temporalmente la productividad del equipo.

5.2. Análisis para el proyecto actual

En el caso de este proyecto:

- **Configuración:** 4 personas vs 2.82 recomendadas = 42 % más recursos
- **Evaluación:** Este exceso es **razonable y manejable** para un proyecto de tamaño pequeño-mediano
- **Riesgos:** La sobrecarga de comunicación es mínima con solo 4 desarrolladores (6 canales de comunicación)
- **Recomendación:** Mantener comunicación estrecha mediante reuniones diarias cortas y documentación clara de interfaces entre componentes

Si se intentara acelerar aún más agregando 8 o más personas, la eficiencia podría verse comprometida por la sobrecarga de coordinación, especialmente en un proyecto con alcance relativamente acotado.

6. Escenarios alternos

6.1. Variaciones en el tamaño del código

Se analizó la sensibilidad del modelo ante variaciones de $\pm 10\%$ en el KLOC, manteniendo los mismos coeficientes. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

6.2. Variaciones en el tamaño del equipo

Para el escenario base (8.73 KLOC, 23.35 PM de esfuerzo), se analizan diferentes configuraciones de equipo y su impacto en la duración del proyecto. La Tabla 4 muestra estos escenarios.

Escenario	KLOC	Esfuerzo (PM)	Duración óptima (meses)	Costo (MXN)
Conservador (-10 %)	7.86	20.91	7.94	\$418 132
Base	8.73	23.35	8.28	\$467 045
Ambicioso (+10 %)	9.60	25.81	8.60	\$516 203

Cuadro 3: Sensibilidad del esfuerzo y costo ante variaciones en el tamaño del código.

Configuración	Personas	Duración (meses)	Observaciones
1 persona	1	23.35	Proyecto individual, muy extenso
Óptimo COCOMO	2.82	8.28	Configuración óptima recomendada
Equipo actual	4	5.84	Razonable, 42 % más recursos
Equipo ampliado	6	3.89	Riesgo moderado de sobrecarga
Equipo grande	8	2.92	Alto riesgo de ineficiencia

Cuadro 4: Impacto del tamaño del equipo en la duración del proyecto (esfuerzo constante: 23.35 PM).

Interpretación: Aunque matemáticamente es posible calcular duraciones menores con equipos más grandes, en la práctica la eficiencia disminuye significativamente con equipos superiores a 4-6 personas para proyectos de este tamaño, debido a la Ley de Brooks explicada en la sección anterior.

7. Factores de ajuste por puntos funcionales

El conteo de 15 PF se ajustó aplicando los 15 factores de influencia sugeridos por IFPUG (International Function Point Users Group), calificando cada uno en la escala de 0 (no aplica) a 5 (influencia fuerte). La Tabla 5 resume la calificación y el criterio usado para este proyecto.

La suma de las calificaciones es 20, por lo que el factor de valor de ajuste (VAF) se calcula como

$$VAF = 0,65 + 0,01 \times 20 = 0,85.$$

Tomando los puntos funcionales no ajustados (Unadjusted Function Points, UFP) = 15, el puntaje funcional ajustado (Adjusted Function Points, AFP) resulta

$$AFP = UFP \times VAF = 15 \times 0,85 = 12,75.$$

Este valor se utilizará como referencia para futuros refinamientos del tamaño funcional y su relación con los estimados obtenidos por COCOMO.

8. Recomendaciones

- Validar el conteo de líneas con una herramienta especializada (p. ej. `cloc`) para refinar la base KLOC.

- Ajustar el costo mensual si se conocen salarios reales del equipo o si se desea incluir gastos corporativos adicionales.
- Revisar factores de costo (COCOMO intermedio) cuando se cuente con información sobre fiabilidad requerida, restricciones de hardware o experiencia del equipo.

Factor	Calificación	Justificación
Comunicación de datos	1	El sistema opera offline y sólo comparte datos mediante reportes locales.
Procesamiento distribuido	0	No hay servidores remotos ni componentes distribuidos.
Rendimiento	1	El volumen de usuarios y datos es bajo; se requiere respuesta adecuada en una sola estación.
Configuración de hardware	1	Se ejecuta en equipo tipo oficina, con requisitos modestos descritos en la documentación.
Volumen de transacciones	1	El flujo diario de altas y consultas es reducido y manual.
Entrada de datos en línea	2	Formularios interactivos para clientes, pólizas y recibos.
Eficiencia para el usuario final	2	Se diseña una interfaz amigable, pero para una sola persona operadora.
Actualización en línea	1	Las actualizaciones se aplican localmente sin sincronización externa.
Complejidad de procesamiento	1	Predominan operaciones CRUD con validaciones básicas y cálculos sencillos.
Reusabilidad	1	Componentes reutilizables dentro del MVC, pero sin plan de reaprovechamiento en otros proyectos.
Facilidad de instalación	3	Se prioriza un instalador sencillo y autónomo para el usuario final.
Facilidad de operación	2	Se requieren ayudas contextualizadas, pero el flujo operativo es lineal.
Múltiples sitios	0	El despliegue es exclusivo para la oficina del corredor.
Facilidad de cambios	2	Arquitectura modular que facilita ajustes futuros para el negocio.
Seguridad y control de acceso	2	Autenticación local con control de sesiones y resguardo de datos personales.

Cuadro 5: Calificación de los 15 factores de influencia para el ajuste de PF.