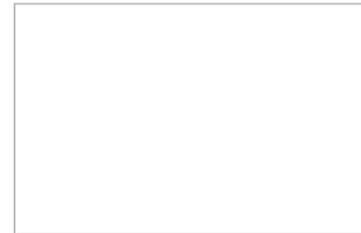


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ**  
**COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO.**  
**INFORME TÉCNICO DE INVESTIGACIÓN**



(Para uso interno de la CIP únicamente)  
 Sello de recibo con fecha y firma de quien recibe

Ciudad Juárez, Chihuahua a 01 de octubre de 2018

**Periodo que cubre el informe:** (dd/mm/aa): De 03 / 10 / 2017\_ a 01 / 10 / 2018

**Fecha de recepción:** 01 / 10 / 2018\_

**Fecha de evaluación:** \_\_\_ / \_\_\_ / 20\_\_

Parcial 1\_\_\_ 2\_\_\_ 3\_\_\_ Final X\_\_\_

IADA\_\_\_ ICB\_\_\_ IIT\_\_\_ ICSA\_\_\_ CU X\_\_\_

### I. Título del proyecto

Un enfoque de deconvolución para procesos de degradación con error de medición

### II. Resumen (Máximo 200 palabras)

Muchas de las veces cuando se realiza un análisis de confiabilidad basado en datos de degradación se puede notar que los datos medidos están contaminados con error de medición. Los cuales se pueden deber a dispositivos de medición imperfectos, condiciones ambientales, entre otros factores. Dado que la finalidad principal de los modelos de degradación es establecer una estimación de confiabilidad de un producto o sistema, resulta importante considerar el error de medición en la modelación de manera que la evaluación de confiabilidad obtenida sea precisa. El efecto del error de medición puede llevar a una caracterización errónea de las trayectorias de degradación lo que lleva a una caracterización imprecisa de la distribución de tiempos de falla. La modelación que se desarrolló como parte de esta investigación consistió en modelar la degradación observada mediante un proceso estocástico determinado (se consideraron el proceso gamma, proceso inverso Gaussiano y el proceso Wiener) y considerar que el error de medición es explicado por una cierta función de densidad de probabilidad (se consideró una distribución normal). Entonces el valor real de degradación se obtuvo mediante deconvolución considerando la transformada rápida de Fourier.

### III. Principales resultados

Dentro del desarrollo de este proyecto de investigación se obtuvieron diferentes resultados importantes con impacto en el área de estudio de procesos de degradación. Estos resultados están relacionados con la modelación de procesos de degradación que están contaminados con error de medición. Bajo este enfoque se propuso el uso de deconvolución para obtener la degradación sin contaminación del error de medición. Principalmente se desarrollaron diferentes modelos considerando procesos estocásticos conocidos en la literatura, a continuación se enlistan los modelos desarrollados:

- Modelo de deconvolución gamma-Gaussiano
- Modelo de deconvolución inverso Gaussiano-Gaussiano
- Modelo de deconvolución Wiener-Gaussiano

En los tres modelos se consideró que el error de medición sigue una distribución normal con media cero y desviación estándar desconocida. El proceso de deconvolución se desarrolló de la siguiente manera para los tres modelos. Se consideró que las mediciones de degradación son gobernadas  $Z_i(t_j)$  por los procesos estocásticos específicos de cada modelo (gamma, inverso Gaussiano, Wiener), es decir se consideró una función definida para  $Z_i(t_j)$  como  $f(Z_i(t_j))$ . De tal manera que considerando que el error de medición también es caracterizado por una función definida, es decir  $f(\epsilon)$ , se procedió a obtener las funciones características de ambas funciones, de tal manera que al dividir ambas funciones características se puede obtener una resta de las dos funciones, a lo cual se le conoce como deconvolución (la finalidad de restar recae en precisamente restar a la medición contaminada el error de medición de manera que se obtenga la medición real). Para llevar a cabo la deconvolución se utilizó la transformada inversa de Fourier la cual fue implementada mediante la transformada rápida de Fourier mediante la versión discreta de la transformada. Para llevar a cabo tales operaciones se utilizó el software R para la creación de diferentes algoritmos de acuerdo al tipo de modelo.

Los modelos con sus respectivos algoritmos se implementaron en dos casos de estudio. Para el primer modelo (gamma-Gaussiano) se consideraron datos de incrementos de fracturas de una terminal. En la Figura 1, se muestra en color negro los gráficos de caja de la degradación observada, mientras que los gráficos de caja en color rojo muestran la degradación real después de aplicar el proceso de deconvolución. Como se puede observar, al quitar el efecto del error de medición se disminuye el valor de la degradación observada, lo cual definitivamente tiene un efecto sobre la estimación de confiabilidad, tal como se puede observar en la Figura 2. En la cual se puede observar que la confiabilidad en rojo (sin error de medición) es mayor que la confiabilidad en negro (con error).

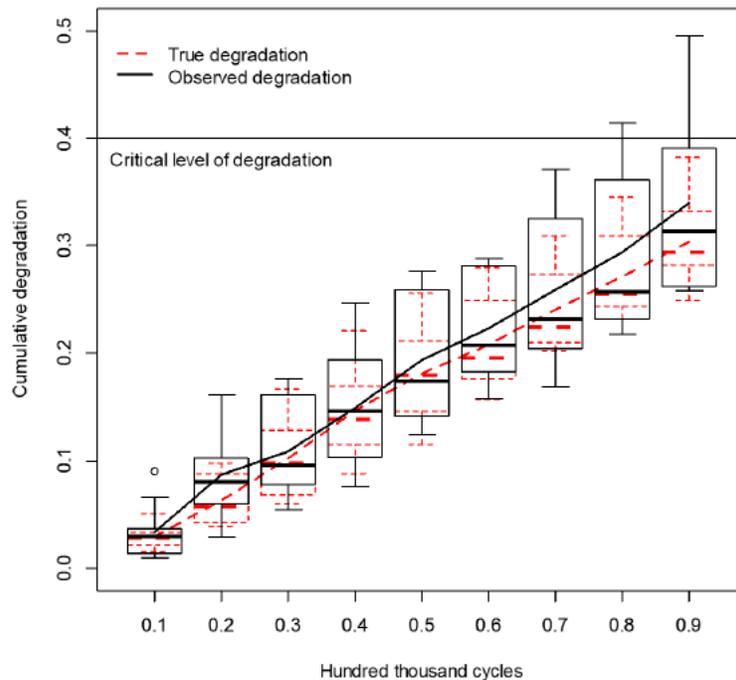


Figura 1. Resultados del modelo gamma-Gaussiano

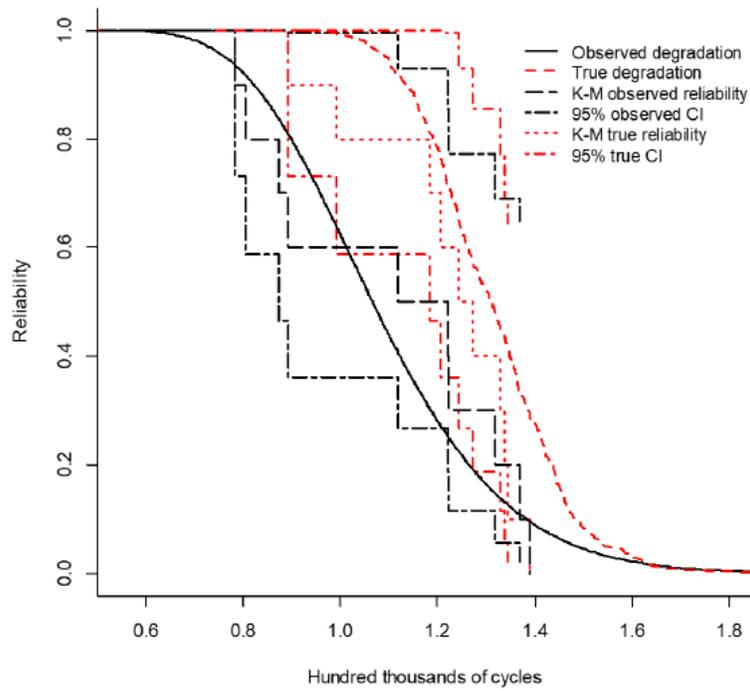


Figura 2. Comparación de confiabilidad para mediciones con error y sin error.

Los mismos resultados se pudieron observar para el segundo y tercer modelo, los cuales se aplicaron a un caso de estudio de degradación de dispositivos laser. En las figuras 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos, en la figura 3 se muestra la comparación de trayectorias observadas y reales (gris, rojo) para los procesos Inverso Gaussiano y Wiener, respectivamente. Mientras que en la figura 4, se comparan las estimaciones de confiabilidad para los dos casos de estudio, en los cuales se puede notar que la confiabilidad no es valorada correctamente bajo el efecto del error de medición.

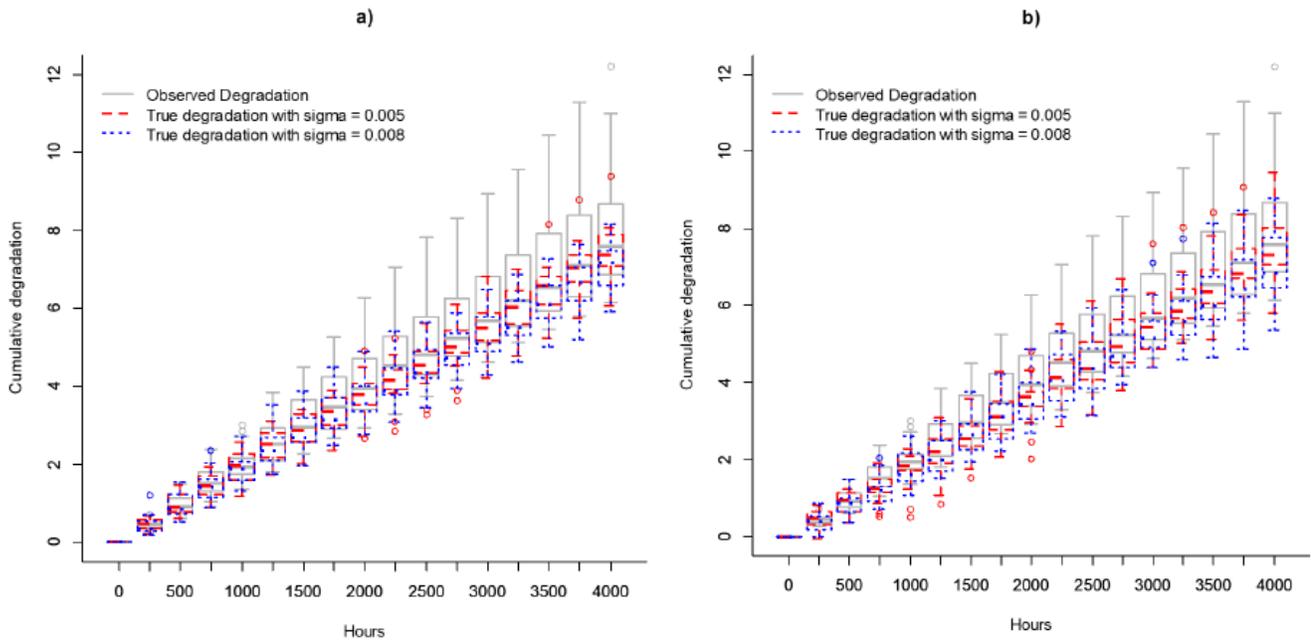


Figura 3. Comparación de trayectorias. a) Inverso Gaussiano, b) Wiener.

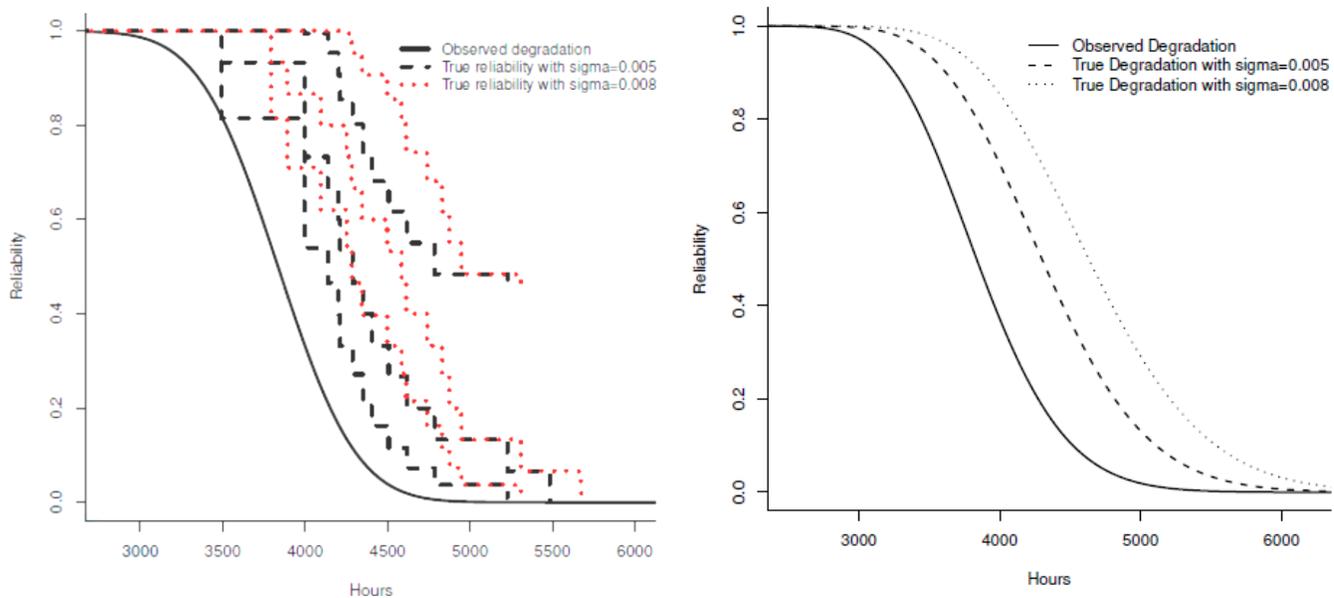


Figura 4. Comparación de funciones de confiabilidad. a) Inverso Gaussiano, b) Wiener.

#### IV. Conclusiones

En este proyecto de investigación se propuso el uso del proceso de deconvolución para obtener la degradación real de degradación observada con error de medición. Bajo este enfoque se desarrollaron modelos considerando tres procesos estocásticos, los cuales son el proceso gamma, proceso inverso Gaussiano y el proceso Wiener. Estos procesos se consideraron para describir la degradación observada, mientras que para los tres modelos se consideró una distribución normal para describir el error de medición. Para la implementación del proceso de deconvolución se consideró la forma discreta de la transformada de Fourier y se implementó mediante el algoritmo de la transformada rápida de Fourier con el fin de obtener la degradación verdadera de la degradación observada. Se llevaron a cabo estudios de simulación en los que se encontró que mientras mayor sea el error de medición (en términos de los parámetros de la distribución normal que lo describe) menor es la variación de las trayectorias de degradación reales en cada unidad de tiempo de observación, lo cual también tiene efecto sobre la media de degradación. Definitivamente tales efectos tienen impacto sobre la estimación de confiabilidad, como se puede observar en las figuras 2 y 4.

Con el fin de ilustrar el impacto del error de medición sobre la estimación de confiabilidad, se consideraron dos casos de estudios (los cuales se describen en la sección anterior). De tal manera que los modelos y enfoques propuestos se implementaron considerando diferentes caracterizaciones del error de medición. Una vez que se obtuvo la degradación real se desarrollaron las funciones de confiabilidad para cada caso de estudio. De las figuras 2 y 4 se puede observar que la confiabilidad de la degradación real tiende a ser mayor conforme mayor es el error de medición. Específicamente en la figura 4, para el proceso inverso Gaussiano se puede calcularon intervalos de confianza Kaplan-Meier para la degradación real y se puede observar que estos intervalos no incluyen la degradación observada, lo cual confirma el efecto del error de medición. Tales efectos son originados porque la degradación real obtenida a través de deconvolución causa que la media de degradación entre las trayectorias y la variación dentro de las trayectorias sean menores comparadas con las mismas características de la degradación observada.

Otra aportación importante esta relacionada con la determinación de esquemas de medición óptimos, de tal manera que sea posible determinar un cierto desempeño del sistema de medición, para que sea posible obtener una estimación deseada de confiabilidad. Tal esquema se desarrolló específicamente para el modelo gamma-Gaussiano, aunque puede ser extendido para cualquiera de los otros modelos. Para la implementación del esquema, se requirió el desarrollo de índices de desempeño, los cuales están relacionados con las distribuciones de tiempos de falla tanto de la degradación observada como de la degradación real. Específicamente los índices capturan las diferencias entre el tiempo medio para la falla, el coeficiente de variación, y cualquier percentil de las distribuciones.

## V. Productos de la investigación

-Artículo de investigación titulado: "Reliability assessment of degradation processes with measurement error based on a gamma-Gaussian deconvolution" enviado a la revista "Quality and Reliability Engineering International", la cual según el JCR 2017 tiene un factor de impacto de **1.604**.

-Artículo de investigación titulado: "A Deconvolution Approach for Degradation Modeling with Measurement Error" enviado a la revista "IEEE Transactions on Reliability", la cual según el JCR 2017 tiene un factor de impacto de **2.729**.

### PUBLICACIONES

Anexar evidencias.

#### a) Revistas internacionales con arbitraje

Autor	Título	Revista	Número	Año	País
Luis Alberto Rodríguez Picón	Reliability assessment of degradation processes with measurement error based on a gamma-Gaussian deconvolution	Quality and Reliability Engineering International	Bajo revisión	2018	Estados Unidos
Luis Alberto Rodríguez Picón	A Deconvolution Approach for Degradation Modeling with Measurement Error	IEEE Transactions on Reliability	Bajo revisión	2018	Estados Unidos

#### b) Memorias en Congresos in extenso con arbitraje

Autor	Título	Revista	Número	Año	País

#### c) Otras revistas

Autor	Título	Revista	Número	Año	País

#### d) Artículos de divulgación

Autor	Título	Revista	Número	Año	País


**e) Libros**

Autor	Título	Editorial	Año	País

**f) Otros productos de la investigación como antologías, patentes, prototipos, modelos de utilidad.**

Anexar evidencia como portada e índice de contenido de la antología, o el registro de la patente, prototipo y/o modelo de utilidad.

**g) Formación de recursos humanos**

Anexar copia de la portada de la tesis y del acta de examen como evidencias.

Nombre	Grado obtenido o avance	Título de la tesis	Departamento

**h) Ponencias presentadas**

Anexar presentación, programa y/o constancia como evidencia.

Nombre	Fecha	Nacional/Internacional	Título del Trabajo	Memoria

**VI. Compromisos adicionales adquiridos al inicio del proyecto**

1. Señale si su proyecto fue sometido a evaluación, a fuentes externas de financiamiento, indicando el organismo financiador. (Anexar documentación comprobatoria, excepto fondos CONACYT).

Este proyecto NO fue sometido a evaluación a fuentes externas de financiamiento.

2. ¿Hubo productos adicionales a los comprometidos? ¿Cuáles? (Anexar evidencias)

En el desarrollo del presente proyecto de investigación no se obtuvieron productos adicionales a los obtenidos.

**VII. Consistencia entre objetivos y metas (ver punto VIII)**

Utilizar para hacer su autoevaluación el protocolo de inicio de proyecto.

- **Iniciales: Las metas propuestas inicialmente se enlistan a continuación:**
  1. Obtener estimaciones de confiabilidad de un producto mediante la aplicación de los modelos desarrollados en durante la investigación.
  2. Obtener productos de investigación de impacto nacional o internacional, demostrando los resultados de los estudios realizados para la modelación de confiabilidad.
  3. Desarrollar un caso de estudio, mediante la aplicación de las modelaciones propuestas.

- **Alcanzados: Dentro del desarrollo del proyecto de investigación hasta el presente reporte se han alcanzado las tres metas planteadas, a continuación se argumenta para cada una de ellas.**
  1. Como se puede notar en las figuras 2 y 4 presentadas en la sección III, de los modelos propuestos fue posible obtener estimaciones de confiabilidad. Para los casos de estudio analizados se caracterizó específicamente la función de confiabilidad, a partir de la cual es posible obtener más funciones de utilidad para realizar estimaciones.
  2. Como parte del desarrollo de los modelos basados en deconvolución para tres procesos estocásticos, se logró el desarrollo de dos artículos de investigación. Estos artículos actualmente se encuentran en revisión en revistas de prestigio internacional indizadas en el JCR. Por lo que, la meta se puede considerar como alcanzada.
  3. Para la aplicación de los modelos desarrollados se consideraron dos casos de estudios relevantes en ingeniería. El primero de ellos está relacionado con la propagación de fracturas de un sensor, para el cual es importante determinar el tiempo que requerirá para llegar a una cierta dimensión. El segundo caso de estudio, está relacionado con un conjunto de datos de degradación de la literatura, los cuales están relacionados con la degradación de dispositivos laser. Por estas razones se considera que la meta fue alcanzada satisfactoriamente.
- **Por alcanzar: Aunque para la segunda meta se logró el desarrollo y envió de dos artículos de investigación, es importante mencionar que tales artículos actualmente aún se encuentran en proceso de revisión.**

## VIII. Evolución

En la propuesta inicial del protocolo de investigación se consideró el siguiente cronograma:

Tabla 1. Cronograma de Actividades

Actividad	2017	2018	2018	2018	2018
	Octubre - Diciembre	Ene-Mar	Abril - Jun	Jul - Ago	Septiembre
Realizar investigación del estado del arte	✓				
Recopilar información sobre casos de estudio	✓				
Realizar estimaciones iniciales de los casos de estudio de la literatura	✓				
Realizar planteamiento de proceso estocástico multivariado		✓			
Definir casos de estudio		✓			
Caracterizar casos de estudio		✓			
Formulación de Modelo con error de medición			✓		
Formulación de algoritmo de solución			✓		
Aplicación en casos de estudio			✓		
Estimaciones de confiabilidad				✓	
Envío de resultados para publicación				✓	
Reporte Final					✓

Hasta la fecha del presente reporte se ha logrado la terminación de las actividades propuestas en un 100%

**En cuanto a lo que reporta de su proyecto considera que:**

**a) ¿Se obtuvieron los objetivos planteados originalmente? (Comente)**

Cada uno de los cuatro objetivos planteados en el protocolo de investigación fueron logrados satisfactoriamente. A continuación se argumenta cada uno de ellos:

- Presentar un esquema de modelación estocástico basado en procesos estocásticos específicos para la degradación observada en un proceso de degradación.

**Para este objetivo se presentó un esquema de modelación en el artículo titulado “Reliability assessment of degradation processes with measurement error based on a gamma-Gaussian deconvolution”. En el cual se describen los pasos de modelación para los procesos estocásticos considerados.**

- Desarrollar un modelo de degradación que considere el efecto de errores de medición independientes a la degradación observada.

**En los dos artículos desarrollados se presentan modelos que tratan procesos de degradación con error de medición, así como su aplicación en dos casos de estudio. Por lo cual se logró este objetivo.**

- Establecer algoritmos de estimación para el modelo propuesto de degradación basándose en un enfoque bayesiano.

**En ambas aplicaciones, se estimaron los parámetros de interés mediante un enfoque Bayesiano, en los artículos de investigación se proveen los códigos de estimación.**

- Generar productos de investigación de impacto tanto local como internacional.

**Se realizó el envío de dos artículos de investigación a dos revistas de prestigio internacional indizadas en el JCR.**

**b) ¿Surgieron nuevos problemas no contemplados originalmente? (Comente)**

Definitivamente surgieron problemas que no se consideraron inicialmente. Uno de ellos está relacionado con el proceso de deconvolución, en el se encontró con funciones complejas no estándar que fueron complicadas para analizar. Otro problema importante está relacionado con la estimación de confiabilidad de las funciones complejas obtenidas de la deconvolución. Aunque cabe mencionar que estas dos problemáticas importantes fueron resueltas apropiadamente con el uso de software especializado y mediante herramientas matemáticas.

**c) ¿La línea de investigación realizada dio lugar o puede dar lugar en el futuro a aplicaciones, patentes, modelos de utilidad, prototipos, etc.? (Comente)**

La línea de investigación desarrollada no dio lugar al desarrollo de patentes o modelos de utilidad. Sin embargo, es posible desarrollar ambas cosas como trabajo a futuro. En el desarrollo del proyecto de investigación se logró desarrollar tanto modelaciones como algoritmos de estimación, por lo que aplicaciones específicas pueden dar lugar al desarrollo de modelos de utilidad.

**IX. Comentarios adicionales**

-



**Dr. Luis Alberto Rodríguez Picón**

---

Nombre y firma del investigador responsable del proyecto

**\*\*Nota:** Para informe final deberá entregarse anexa la documentación comprobatoria correspondiente.  
El original de éste formato es para la CIP y la copia de recibo sellada se entrega al Investigador responsable del proyecto.