



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA EL  
PROTOTIPO DE LA MEMORIA NOR-FLASH, PARA  
PRUEBAS DE RADIACIÓN**

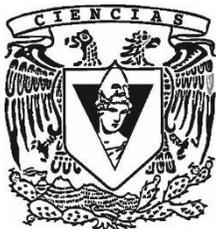
**REPORTE DE SERVICIO SOCIAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**ACTUARIA**

**P R E S E N T A:**

**XIMENA LUNA HERNÁNDEZ**



**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR GUSTAVO ADOLFO MEDINA TANCO  
2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno.

Luna

Hernández

Ximena

55 59 74 06

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Actuaría

308011917

2. Datos del asesor.

Dr.

Gustavo Adolfo

Medina

Tanco

3. Datos del sinodal 1

Act.

Díaz

Ordóñez

Edgar

4. Datos del sinodal 2

M. en C.

Daniel

Cervantes

Filoteo

5. Datos del sinodal 3

M. en C.

Alejandro

Santoyo

Cano

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Fernando Daniel

Pérez

Arriaga

7. Datos del trabajo escrito.

Análisis de Confiabilidad Para el Prototipo de la Memoria NOR Flash, para Pruebas de Radiación

56 p

2019

Agradecimientos:

A mis padres, **Carlos y Carmen** por haberme dado la vida y a pesar de todas las dificultades que se nos presentó, siempre estuvieron conmigo paso a paso hasta el final.

A mis hermanos, **Carlos y Diego** por no desesperarse y estar pacientes en todo este proceso.

A mi tutor y buen consejero siempre, **Dr. Gustavo Medina** porque siempre me apoyó y por ser uno de mis mejores jefes que he tenido, que siempre tuvo paciencia y creyó en mí.

Al técnico académico del Instituto de Ciencias Nucleares **Benjamín Leal**, porque sin él no hubiera sido posible realizar éste informe, por todo este apoyo con tantas horas de trabajo.

Así como al técnico académico del Instituto de Ciencias Nucleares **Juan Carlos Sánchez**, por esta gran amistad de tantos años y por todo el apoyo que ha habido por su parte, por siempre estar a disposición de ayudar y de ser además un buen amigo.

A mis sinodales **Daniel Cervantes, Alejandro Santoyo, Edgar Díaz y Fernando Pérez**, por darme buenos consejos y aportar más a éste informe.

A **William, Ernesto, José Carlos, Leo, Daniel y Jonathan** porque he encontrado en ellos no solo un excelente equipo de trabajo sino también una amistad duradera, porque estuvieron en momentos muy difíciles conmigo y siempre supieron decirme las palabras correctas.

A mi **abuelita Yolanda y a Paty**, por ser mis madrinas y mis amigas desde que tengo memoria.

A mis jefes **Cristy García y Lalo Nava**, por siempre creer en mí y por apoyarme a cumplir mis sueños.

A **Tury y a Fer**, por estar conmigo a lo largo de la carrera y que logramos hacer un excelente equipo los 3, por esas noches de desvelo y café y por esas alegrías de pasar los exámenes.

A **Meli**, porque ella ha sido mi compañera de vida desde los 4 años, que ha sido un pilar muy importante para no dejarme vencer y cumplir mis metas.

A **Chio**, por escucharme todos los momentos que lo necesité, porque me ayudó a ver lo grande que podía ser.

A **Raquel y a Liz**, por ser amigas mías del alma, porque me abrieron los ojos para darme cuenta de que si podía con las materias y por tantos momentos juntas, porque juntas somos mejores que separadas.

A mis amigos de la facultad: **Ramos, Rubén, Daniel, Jorgito, Juan Carlos e Imanol**, por ser mis amigos que Dios me puso en mi camino y que han estado conmigo en las buenas, en las malas y en las peores.

A mis amigas de los Scouts: **Kathy Linner, Jime Murillo, Angie León, Marianita Rubio, Angie Villalobos, Yurs Navarrete, Albis Ortega, Lore Narganes, Azul Santibañez**, por tantos años de amistad y que pese a los años seguimos y seguiremos juntas.

A **Erika, Sofi, Pao y Dany Chávez**, por quererme tanto y alegrarse por todos mis logros, por siempre estar pendiente de mí y de querer celebrar cualquier paso que doy hacia adelante.

A mis tíos, **Rosi y Sam, Tía Elvia y Tío Cesar, Tía Blanca y Tío Lalo**, por estar paso a pasito conmigo a pesar de la distancia.

A mis primos: **Brenda, Ángel y Carlitos**, porque han sido gran apoyo ante cualquier circunstancia.

A mis tíos: **Chayo, Rafa, Ricardo, Carmen, Lulú, Ale y Beto**, que han estado pendiente de mi proceso desde los inicios de mi carrera y que se alegraban por cada una de mis materias pasadas, por echarme porras siempre y estar orgullosos de mí.

A mis primos: **Luis Fernando, Ari, Marianita, Rafita y Fer, Carmelita y Aldo, Carmen Regina, Richie, Rodrigo y Caro, Memito y Tita, Roberto y Adriana, Gaby e Igo, Lupis, Ernesto, Memo, Patricio, Franco y Emilio**, porque son la mejor familia que pude tener.

Gracias a todos ellos por ser parte de este camino, porque Dios me ha colmado de tanta gente a quien aprecio y ha estado a mi lado.

## CONTENIDO:

1. Índice.....	3
2. Introducción.....	4
3. Objetivo, Problema e Hipótesis.....	7
4. Teoría.....	8
5. Metodología de Pruebas de Radiación.....	12
6. Rango de Dosis de Radiación.....	13
7. Análisis de Supervivencia.....	15
a. Estimador Kaplan Meier.....	18
b. Medianas.....	20
c. Función de Riesgo.....	20
d. Función de Riesgo Acumulado.....	22
e. Densidad de Probabilidad.....	24
f. Ajuste Kaplan Meier.....	32
g. Parámetros de Estimaciones.....	39
h. AIC.....	39
i. QQ-Plots.....	40
j. Modelo correcto.....	49
8. Conclusiones.....	55
9. Bibliografía.....	56

## Introducción:

El desarrollo de instrumentos científicos que pretenden ser utilizados en el espacio, exige cada vez más capacidad para almacenar datos como son: datos científicos recopilados y registros de misión. Además, estos instrumentos están expuestos a entornos extremos durante períodos de tiempo más o menos prolongados, lo que los hace susceptibles de fallas debido principalmente, a la radiación ionizante. Usualmente, se utilizan componentes RAD-Hard (definidos como los componentes resistentes al daño o mal funcionamiento causados por los altos niveles de radiación ionizante), para mitigar estos efectos, con el consiguiente impacto en el costo. Por lo tanto, para aplicaciones específicas y/o para misiones los nanosatélites cuyos presupuestos tienden a restringirse en gran medida, el uso de componentes comerciales, podría convertirse en una alternativa viable, aunque con la salvedad de su menor resistencia a la radiación. En tales casos, es fundamental validar experimentalmente el uso de esos componentes, para la misión en particular. Esto es especialmente cierto, para aquellos componentes que son críticos, para la misión (por ejemplo, componentes de puntos de falla únicos), como lo son las memorias que almacenan el firmware del satélite. El propósito de este informe, es evaluar las memorias comerciales off-the-shelf (en sus siglas en inglés COTS) contra el daño, debido a la TID (denominada como Total Ionization Dose por sus siglas en inglés) en orbitas LEO, específicamente, para el almacenamiento no volátil del firmware. Se estima, que las memorias flash NOR, debido a su acceso aleatorio, garantía de retención y resistencia, para cada bit, son las más adecuadas, para esta tarea. Adicionalmente, las memorias flash NOR fabricadas por el Cypress que es una marca comercial poseen la tecnología MirrorBit, que implementa dos bits por celda, lo que permite tener una memoria NOR-FLASH de mayor densidad, haciendo que su tipo sea cada vez más atractiva, para la aplicación espacial.

El progreso alcanzado en la investigación científica, particularmente en el campo espacial de exploración, requiere el uso de más poderosas plataformas informáticas integradas, que sean capaces del procesamiento intensivo de datos, para lograr el proceso de todo los datos recolectados. Hoy en día, los problemas que implican una gran cantidad de datos del procesamiento se resuelven con el uso de Field Programmable Gate Arrays (FPGA). Sin embargo, debido a la naturaleza volátil de algunas familias FPGA, el uso de un elemento de almacenamiento externo es necesario, para mantener una copia del firmware del FPGA.

Por lo tanto, el uso de memorias no volátiles es obligatorio, para esas aplicaciones. Además, los dispositivos electrónicos que integran un sistema a menudo están integrados en entornos agresivos, tales como variaciones extremas

de temperatura, alto vacío, interacción con partículas de alta energía SEE (Single Event Effect), TID (Total Ionization Dose), entre otros. Debido a ello, partes electrónicas progresivamente se degradan con el tiempo. El ambiente de radiación, al que una nave espacial está expuesta, depende de la órbita y de las condiciones climáticas espaciales bajo las cuales operará; y, es este entorno, modulado por el blindaje de los elementos estructurales que rodean el componente, lo que hará determinar la exposición a la radiación efectiva. Para una LEO (Low Earth Orbit), hay dos tipos de radiación espacial: el ambiente de radiación transitoria, galáctica con rayos cósmicos y partículas emitidas durante eventos solares y la radiación magnetosférica atrapada como son todas las partículas que están atrapados por el campo magnético de la tierra como el Van Allen Cinturones de radiación.

Las memorias flash son memorias no volátiles, es decir, que son capaces de retener información si la fuente de alimentación está de prendida a apagada. Esto, los hace adecuados, para mantener datos críticos durante el modo operativo fuera del sistema o para la utilización en sistemas que puede presentar la corrupción de datos durante la operación y la necesidad de una copia de seguridad confiable. La estructura de las memorias flash es una matriz de celdas apiladas. Dependiendo de cómo se organizan las células internamente, es posible, distinguir entre memorias NAND y NOR Flash. Las memorias flash NOR emplean una arquitectura de matriz paralela donde se puede acceder a cada celda a través de un contacto, para que cada bit se puede leer o escribir individualmente. Las memorias flash NAND, por otro lado, se organizan en serie en grupos de células. No hay contactos, para seleccionar celdas individualmente; es decir, solo se puede acceder a grupos de celdas. Los dispositivos flash NOR se utilizan para el almacenamiento de código y en situaciones donde, para los datos aleatorios, el acceso es importante. Además, los fabricantes garantizan que cada bit cumple con las especificaciones de retención y resistencia. Alternativamente, las memorias flash NAND están enfocadas al mercado, donde la densidad (alta capacidad de almacenamiento) y el acceso en serie son los Parámetros clave. Hay tres mecanismos responsables físicamente de los cambios  $V_{th}$  inducidos por la TID. Estos son:

- Inyección de carga
- Captura de carga.
- Fotoemisión.

La TID es el efecto de la radiación acumulada en un componente dado y depende de la cantidad de energía depositada en una masa dada de material que crea pares de cargas ionizadas.

Basado en LEO (Low Earth Orbit), los principales contribuyentes de dosis son:

- Electrones.
- Alta energía.

- Protones.
- Rayos Gamma.

Diferentes partículas de la misma energía, depositarán diferentes cantidades de energía, por unidad de material atravesado. Por lo tanto, las contribuciones, de diferentes especies de la TID (Total Ionization Dose), se deben calcular por separado y sumar con posterioridad, para obtener la cantidad total de rads correspondiente a la TID (Total Ionization Dose) resultante (1 rad = 100 ergs por gramo de material irradiado). Para calcular la TID (Total Ionization Dose) que recibirá el dispositivo bajo prueba, es necesario simular la misión con sus parámetros orbitales asociados. Asumimos, una órbita circular con una inclinación equivalente a la Estación Espacial Internacional, pero con altitudes variables dentro del rango LEO (Low Earth Orbit), para una misión típica de 1 año, consistente con muchas aplicaciones nano-satelitales. En la siguiente tabla, se resumen los parámetros orbitales correspondientes.

Parámetros	Valores
Duración de la medición en años	1 año
Rango de altitud en Km	165, 400, 500, 600, 1000, 2000
Inclinación en grados	51.6°

Se afirma por los productores de la mayoría de los componentes COTS que pueden soportar aproximadamente 100 Krad, un valor que está por debajo de cualquier valor de interés, por lo tanto, es extremadamente importante probar el dispositivo.

## **Objetivo**

El propósito de este informe, es evaluar las memorias comerciales off-the-shelf (en sus siglas en inglés COTS) contra el daño, debido a la TID (denominada como Total Ionization Dose por sus siglas en inglés) en orbitas LEO (Low Earth Orbit), específicamente, para el almacenamiento no volátil del firmware.

## **Problema**

La tarjeta NOR-FLASH nunca se ha usado, para fines espaciales, por lo que tenemos que verificar cuánto resiste la memoria sometida a la TID (Total Ionization Dose). Ello es así, porque el tipo de memorias que vamos a emplear, para integrar en nuestro instrumento espacial, al ser creadas con fines comerciales, no se conoce cuánta radiación pueden soportar, pues no están validadas, para funcionar en ambientes extremos, como el espacial, por lo que, para que este dispositivo pueda ser utilizado en un instrumento que será enviado al espacio, como una alternativa de menor costo, es necesario probar, hasta qué punto pueden soportar las condiciones del mismo.

## **Hipótesis**

Al verificar las especificaciones de las memorias por parte del proveedor, se dice, que la memoria NOR-FLASH puede llegar hasta los 100 Krads. Entonces, se espera que la memoria sirva hasta los 150 Krads por máximo.

# Teoría

El tiempo de supervivencia se define como el tiempo transcurrido desde la entrada al estudio o estado inicial, hasta el estado final o el tiempo que transcurre hasta la ocurrencia del evento de interés.

En específico tenemos que un ejemplo de tiempo de falla incluye el tiempo de vida de componentes en confiabilidad, que en este caso es la memoria NOR-FLASH y la idea es, que esté en órbita baja, con una duración de al menos un año ahí.

Un modelo de supervivencia es caracterizado por variables aleatorias no negativas, de modo que la variable aleatoria  $T$  será tomada para denotar el tiempo de falla o también llamado tiempo de supervivencia.

Dado que es una variable aleatoria sabemos que  $T$  es positiva o no negativa.

Ésta puede ser caracterizada por cualquiera de estas 3 funciones básicas:

- Función de supervivencia.
- Función de Riesgo.
- Función de densidad de probabilidad.

Estas funciones son matemáticamente equivalentes. Describamos un poco cada una de ellas:

## Función de Supervivencia.

Se denota por  $S(t)$ . Esta función, representa la probabilidad de que un sujeto en estudio no experimente el evento de interés (sobreviva) antes de un momento dado, por tanto, es  $T$  una variable aleatoria no negativa (de tiempo de falla), con función de distribución  $F(t)$  y función de densidad de probabilidad  $f(t)$ .

$S(t) = P(T > t)$  que es igual a la probabilidad de que alguien o algo sobreviva más allá de  $t$ .

Se puede ver de otra forma:

$$\begin{aligned} S(t) &= 1 - F(t) \\ &= 1 - P(T \leq t) \\ &= 1 - P(\text{un individuo falle antes del tiempo } t \text{ o en } t) \end{aligned}$$

Por lo tanto  $S(t)$  es una función no creciente tal que  $S(0) = 1$  y  $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = 0$

Cuando T es una variable aleatoria con función de densidad, la función de supervivencia es la integral de la función de densidad de probabilidad, como se muestra a continuación:

$$S(t) = P(T > t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

La función de supervivencia, para una variable aleatoria discreta T está dada por

$$S(t) = P(T > t) = \sum_{t_j > t} f(t_j) = f(t_j) = P(T = t_j)$$

### **Función de densidad.**

Una función f tal que  $P(T \in A) = \int_A f(t) dt \forall A \in B_R$

Se define así:

$$f(t) = - \frac{dS(t)}{dt}$$

### **Función de Riesgo.**

La función de riesgo, del tiempo de supervivencia T, da la tasa de falla condicional. Esta se define como la probabilidad de falla durante un intervalo de tiempo muy pequeño, suponiendo que el sujeto de estudio ha sobrevivido hasta el inicio del intervalo, o el límite de probabilidad de que un sujeto falle en un intervalo muy corto, t a t + Δt dado que el individuo ha sobrevivido hasta el tiempo t.

La función de riesgo se define como:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^*} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | t \leq T)}{\Delta t}$$

Si T es una variable continua, entonces

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{-S'(t)}{S(t)} = - \frac{d}{dt} \log S(t)$$

Una función relacionada se define como la función de riesgo acumulado dada por

$$H(t) = \int_0^t h(u) du = - \ln(S(t))$$

La función de riesgo, también es conocida como tasa instantánea de mortalidad, fuerza de mortalidad, tasa de mortalidad condicional, tasa de falla de edad específica y demás nombres relacionados con el tema que se esté tratando y la interpretación que se tenga dentro de éste.

La función de riesgo, describe la forma en que cambia la tasa instantánea de la ocurrencia de un evento de interés, al paso del tiempo; y, la única restricción, para esta función es que tiene que ser no negativa, es decir  $h(t) \geq 0$ . La función de riesgo puede crecer, decrecer, permanecer constante o tener un proceso más complicado.

En el caso discreto, se define la función de riesgo, para los valores  $t_j$  y proporciona la probabilidad condicional de falla al tiempo  $t = t_j$ , dado que el individuo estaba vivo antes de  $t_j$ , por lo tanto se tiene que:

$$\begin{aligned} h(t_j) &= P(T = t_j | T \geq t_j) \\ &= \frac{P(T=t_j)}{P(T \geq t_j)} \\ &= \frac{f(t_j)}{S(t_j^-)} \end{aligned}$$

Donde  $t_j^-$  corresponde a un instante antes de  $t_j$  y por tanto

$$P(T \geq t_j) = 1 - P(T < t_j) = S(t_j^-) \neq S(t_j) \text{ en el caso discreto.}$$

Haciendo un poco de algebra y desarrollando lo anterior, podemos llegar a que

$$S(t) = \prod_{t_j \leq t} \frac{S(t_j)}{S(t_j-1)}$$

Y en el caso discreto

$$H(t) = \sum_{t_j \leq t} [1 - h(t_j)]$$

Algunas equivalencias

$$f(t) = h(t)S(t)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)}$$

Supongamos que se tiene una muestra de tiempos de supervivencia donde ninguna de las observaciones está censurada. La función de supervivencia  $S(t)$  es la probabilidad de que un individuo sobreviva un tiempo mayor o igual a  $t$ .

Esta función puede ser estimada por la función de supervivencia empírica dada por:

$$S(t) = \frac{\text{Número de individuos que sobreviven más allá de } t}{\text{Número total de individuos en el conjunto de datos}}$$

Equivalentemente  $S(t) = 1 - F(t)$  donde  $F(t)$  es la función de distribución empírica, la cual es el número de individuos que han fallado al tiempo  $t$  entre el número total de individuos.

La función de supervivencia estimada  $S(t)$  es considerada constante entre 2 tiempos de falla adyacentes, por lo que la gráfica de  $S(t)$  es una función escalonada que decrece inmediatamente después de cada tiempo de supervivencia.

### Estimador de Kaplan-Meier

El estimador de Kaplan-Meier corresponde a una función no decreciente con saltos en los puntos en los que se registra el evento. Cuando no hay censura en la muestra, el estimador se reduce a la función de supervivencia empírica, que en cada valor de tiempo devuelve la proporción de individuos de la muestra que permanecen en riesgo. A partir de este estimador, es posible construir un estimador de la función de densidad, considerando los incrementos del estimador de la función de supervivencia estimada.

Sea  $S(t)$  la función de supervivencia de una determinada población, es decir, la probabilidad de que uno de sus integrantes viva más allá de un tiempo  $t$ . Para una muestra de esta población de tamaño  $N$ , sean

$$t_1 \leq t_2 \leq t_3 \leq \dots \leq t_n$$

los tiempos que ocurren hasta la muerte todos ellos. Entonces, para cada  $t_i$ , se define:

El estimador de Kaplan–Meier de  $S(t)$  es el siguiente:

$$S(t) = \prod_{t_i \leq t} \frac{n_i - d_i}{n_i}$$

Dónde:

- $d_i$ , el número de muertes en el momento  $t_i$  y
- $n_i$ , el número de sujetos en riesgo justo antes de  $t_i$ . De no haber censura,  $n_i$  es el número de supervivientes inmediatamente antes del

momento  $t_i$ . Sólo se observan los sujetos vivos que no se han caído del estudio en el momento en que ocurre una muerte.

Relación entre  $S(t)$  y  $h(t)$ :

- $S(t)$  se enfoca en la no ocurrencia del evento, mientras que  $h(t)$  en la ocurrencia.
- $h(t)$  está condicionada.
- $S(t)$  es una probabilidad, mientras que  $h(t)$ , es una “densidad de probabilidad” por unidad de tiempo.
- Ello hace más intuitivo el manejo de  $S(t)$ .
- Sin embargo, ambas funciones están relacionadas y dada una de ellas se puede obtener la otra.

### **Metodología de Las Pruebas de Radiación:**

El presente trabajo, pretende demostrar, que tan confiable es emplear un componente comercial COTS (memoria FLASH), para almacenar datos de un dispositivo reconfigurable (FPGA). El desarrollo de la investigación consiste en la experimentación con radiación total o parcialmente absorbida por el material objetivo, efecto acumulativo en el tiempo, que se conoce como Dosis Ionizante Total (TID) y se expresa normalmente en unidades de Rad. Se simularon las dosis de radiación totales que puede absorber un dispositivo electrónico a diferentes alturas dentro de una órbita LEO. Las simulaciones se efectuaron tomando en cuenta una misión de un año, como ya se expuso anteriormente.

El dispositivo seleccionado es la memoria S25FL216K NOR-FLASH de 16 Mbit organizada en 8192 páginas programables de 256 bytes cada una, que forma parte de la familia de FL-S QSPI de Cypress. Por lo tanto, se espera que los resultados experimentales actuales de la memoria S25FL216K puedan extenderse a toda esa familia de memorias NOR-FLASH.

En el caso de nuestro experimento tenemos solamente 3 memorias por probar, por lo que trataremos de hacer el análisis por páginas, para poder determinar hasta qué punto es la primera falla.

## **Rango de Dosis de Radiación:**

Se hicieron 2 pruebas, la primera se va a ir en un rango de 10 KRad hasta que falle por primera vez la memoria, se define una falla en el experimento cuando al ser leída una vez radiada comienzan a aparecer el total de errores por página; la segunda prueba, se tomará alrededor del intervalo del valor del que falló el dispositivo en la primera prueba, haciéndolo más fino y así poder probar las 2 memorias restantes.

La prueba se realizó en el Instituto de Ciencias Nucleares (ICN) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El ICN tiene una instalación capaz de realizar pruebas de irradiación. La instalación incluye un irradiador Gammabeam 651PT cargado con Cobalto-60 y un Gammacell-3000 cargado con Cs-137 (radiocaesium). Los dispositivos bajo prueba se irradiaron hasta su primera falla.

Con los datos obtenidos tanto en la parte de simulación y experimental se efectuó el análisis estadístico de supervivencia, obteniendo resultados de confiabilidad de uso.

Una PCB (tarjeta) dedicada fue diseñada, para acelerar la prueba de las memorias. Cada PCB tiene 3 memorias flash. Esta PCB es la muestra que en realidad se irradia. Después de la irradiación, la PCB se puede conectar rápidamente a un FPGA basado sistema digital de adquisición de datos, para verificar la integridad de las páginas individuales.

ESCC 22900 estándar que especifica que:

- Se seleccionará una muestra mínima de 3 dispositivos a tratar al azar de un lote único.
- El intervalo de tiempo, desde la finalización de una exposición al comienzo de la medición de los parámetros, será una máximo de 1 hora.
- El intervalo de tiempo, desde la finalización de una exposición al comienzo de la próxima exposición, será como máximo de 2 horas.

Esto se combina, con el hecho de que, la irradiación puede solo ser realizada por un técnico certificado internacionalmente, que solo puede trabajar hasta 8 horas por día. Por lo tanto, todo el proceso de irradiación y prueba de cada lote de tres memorias, que se sigue en los siguientes pasos de irradiación hasta completar la falla de cada memoria en un dado PCB, debe acomodarse en un solo turno. No podemos asegurar que los recuerdos pertenecen al mismo lote de producción, pero todos tienen el mismo código de fecha (713JJ003D), que garantiza el mismo año, semana laboral y ubicación de la producción.

La siguiente figura [Figura 1] muestra el sistema de configuración de medición principal.

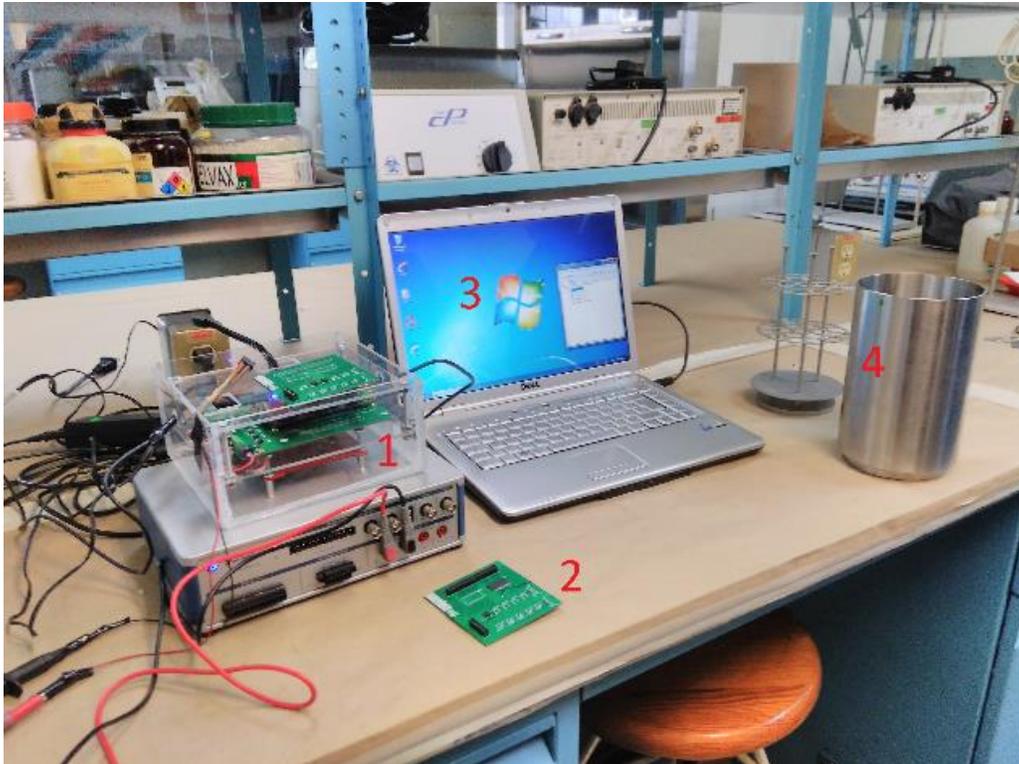


Figura 1 Imagen de pruebas de radiación

En dicha imagen podemos observar el [1] es la FPGA que va conectada a la computadora [3]. La memoria NOR-Flash [2] que una vez radiada se conecta a la FPGA para poder ser leída y a su vez guardar la cantidad de errores por dosis de radiación. Por último tenemos el contenedor [4] que era sumamente importante puesto que ahí se colocaba la memoria y se metía al irradiador.

Para optimizar el proceso, una medida de exploración se realizó por primera vez sobre un lote de control independiente de 3 memorias. A partir de estas mediciones, una irradiación rango de prueba, para los DUT que abarca desde 50 Krad hasta 250 Krad en pasos de 10 Krad, fue seleccionado. El Gammabeam 651PT irradiador se utilizó, para la irradiación inicial de 50 Krad y entonces, la irradiación continuó en el Gammacell-3000 desde 50 Krad hasta que todas las memorias en cada PCB tuvieran su primera falla, que corresponde en todos los casos, a un TID máximo de 250 Krad.

La radiación se realizó a pasos incrementales de 10 Krad. Después de cada paso de irradiación, cada memoria flash en una PCB fue borrado, escrito con datos

conocidos y posteriormente leído en busca de errores, la irradiación continuó hasta que el registro interno de cada memoria se volvió inaccesible.

## Análisis de Supervivencia

Se obtuvo el Estimador Kaplan Meier, para las 3 memorias, que se pasa a exponer:

### Memoria 1

```

> summary(ajuste5)
Call: survfit(formula = Surv(pfalla5, status5) ~ 1)

   time  n.risk  n.event survival  std.err lower 95% CI upper 95% CI
1 90000    8192         2 0.999756 0.000173  0.999418  1.000000
2 100000    8190         5 0.999146 0.000323  0.998513  0.999780
3 110000    8185        50 0.993042 0.000918  0.991244  0.994840
4 120000    8135       268 0.960327 0.002157  0.956110  0.964560
5 130000    7867       416 0.909546 0.003169  0.903356  0.915780
6 140000    7451     1321 0.748291 0.004795  0.738952  0.757775
7 150000    6130     2355 0.460815 0.005507  0.450147  0.471740
8 160000    3775     2297 0.180420 0.004249  0.172282  0.188940
9 170000    1478     1270 0.025391 0.001738  0.022203  0.029040
10 180000     208       201 0.000854 0.000323  0.000407  0.001790
11 190000      7         7 0.000000      NaN      NA      NA

```

Se puede ver, que de acuerdo a la definición del Estimador Kaplan Meier tenemos que el n.risk comienza con 8192 y va disminuyendo conforme al n.event y hacemos la resta conforme la definición.

Cada fila muestra: los valores del tiempo (“time”); el número de páginas a riesgo en ese momento. Es decir, que han llegado, vivos y seguidos, a este tiempo (“n.risk”); el número que padecen el evento en ese instante (“n.event”); la supervivencia o proporción de páginas vivas, tras ese instante (probabilidad de sobrevivir al instante t); su error estándar y su intervalo de confianza del 95%.

## Memoria 2

```
Call: survfit(formula = Surv(pfalla2, status2) ~ 1)
```

time	n.risk	n.event	survival	std.err	lower 95% CI	upper 95% CI
90000	8192	1	0.99988	0.000122	0.999639	1.00000
100000	8191	13	0.99829	0.000456	0.997397	0.99919
110000	8178	11	0.99695	0.000609	0.995755	0.99814
120000	8167	203	0.97217	0.001817	0.968612	0.97574
130000	7964	156	0.95312	0.002335	0.948559	0.95771
140000	7808	260	0.92139	0.002974	0.915577	0.92723
150000	7548	619	0.84583	0.003990	0.838041	0.85368
160000	6929	1578	0.65320	0.005259	0.642973	0.66359
170000	5351	2057	0.40210	0.005417	0.391621	0.41286
180000	3294	1635	0.20251	0.004440	0.193997	0.21141
190000	1659	1122	0.06555	0.002734	0.060406	0.07114
200000	537	406	0.01599	0.001386	0.013493	0.01895
210000	131	120	0.00134	0.000405	0.000744	0.00242
220000	11	11	0.00000	NaN	NA	NA

## Memoria 3

```
> summary(ajuste3)
```

```
Call: survfit(formula = Surv(pfalla3, status3) ~ 1)
```

time	n.risk	n.event	survival	std.err	lower 95% CI	upper 95% CI
90000	8192	4	0.999512	0.000244	0.999033	0.99999
100000	8188	1	0.999390	0.000273	0.998855	0.99992
110000	8187	1	0.999268	0.000299	0.998682	0.99985
130000	8186	48	0.993408	0.000894	0.991657	0.99516
140000	8138	233	0.964966	0.002031	0.960992	0.96896
150000	7905	806	0.866577	0.003757	0.859245	0.87397
160000	7099	1868	0.638550	0.005308	0.628231	0.64904
170000	5231	2949	0.278564	0.004953	0.269024	0.28844
180000	2282	1720	0.068604	0.002793	0.063342	0.07430
190000	562	494	0.008301	0.001002	0.006551	0.01052
200000	68	65	0.000366	0.000211	0.000118	0.00114
210000	3	3	0.000000	NaN	NA	NA

En ambos casos, en la Memoria 2 y en la Memoria 3 tenemos un cambio y no va disminuyendo al 100%, por lo que una hipótesis puede ser, que va fluctuando entre los errores y aunque se encuentra errada la Memoria, se vuelve a poner sin errores, ya que hicimos 5 lecturas por Memoria y eso puede ser la razón.

Analizándolo de otra manera hicimos las tablas de vida para llegar a la conclusión de que es lo mismo hacerlo tanto en tablas de vida como hacerlo por el Estimador Kaplan Meier. Se presentan las siguientes tablas:

<b>MEMORIA 1</b>			
<b>x</b>	<b>ax</b>	<b>lx</b>	<b>dx</b>
<b>rads</b>	<b>Total de vivos</b>	<b>Supervivencia</b>	<b>Número de muertos</b>
90000	8192	1	2
100000	8190	0.999755859	5
110000	8185	0.999145508	50
120000	8135	0.993041992	268
130000	7867	0.960327148	416
140000	7451	0.909545898	1321
150000	6130	0.748291016	2355
160000	3775	0.46081543	2297
170000	1478	0.180419922	1270
180000	208	0.025390625	201
190000	7	0.000854492	7

<b>MEMORIA 2</b>			
<b>x</b>	<b>ax</b>	<b>lx</b>	<b>dx</b>
<b>rads</b>	<b>Total de vivos</b>	<b>Supervivencia</b>	<b>Número de muertos</b>
90000	8192	1	1
100000	8191	0.99987793	13
110000	8178	0.998291016	11
120000	8167	0.996948242	203
130000	7964	0.972167969	156
140000	7808	0.953125	260
150000	7548	0.921386719	619
160000	6929	0.845825195	1578
170000	5351	0.653198242	2057
180000	3294	0.402099609	1635
190000	1659	0.202514648	1122
200000	537	0.065551758	406
210000	131	0.015991211	120
220000	11	0.001342773	11

MEMORIA 3			
x	ax	lx	dx
rads	Total de vivos	Supervivencia	Número de muertos
90000	8192	1	4
100000	8188	0.999511719	1
110000	8187	0.999389648	1
130000	8186	0.999267578	48
140000	8138	0.993408203	233
150000	7905	0.96496582	806
160000	7099	0.866577148	1868
170000	5231	0.638549805	2949
180000	2282	0.278564453	1720
190000	562	0.068603516	494
200000	68	0.008300781	65
210000	3	0.000366211	3

Cómo podemos ver comparando los resultados del Estimador Kaplan Meier y los de las Tablas de Vida podemos observar que son los mismos resultados así que optamos por hacerlo con el Estimador Kaplan Meier.

Ahora tenemos las gráficas del Estimador Kaplan Meier:

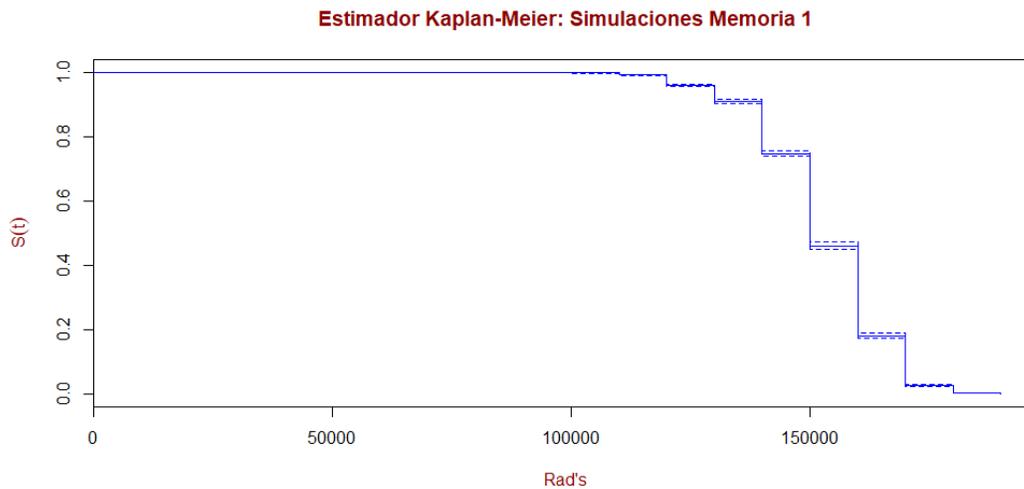
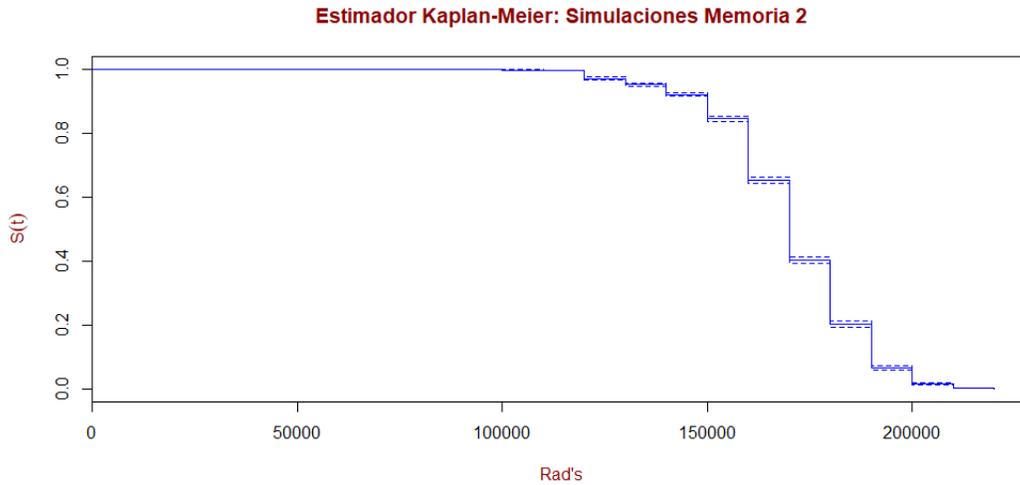
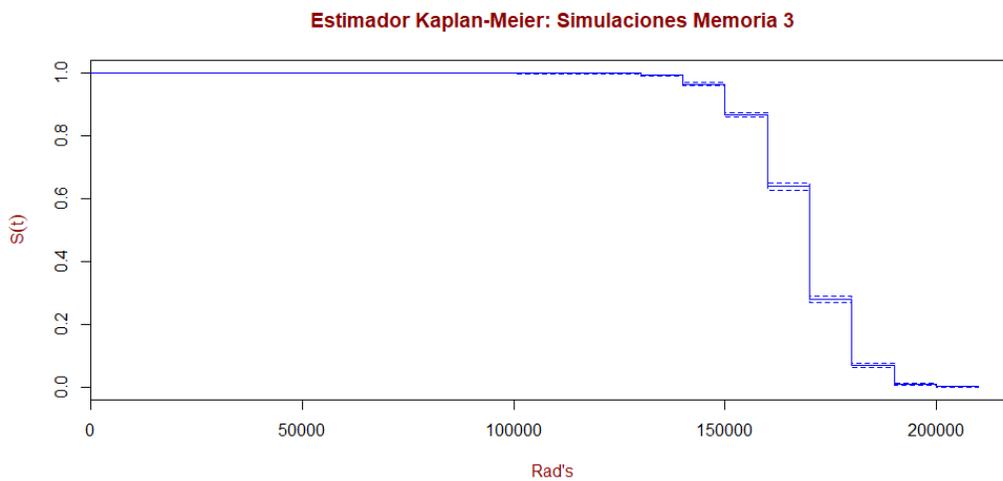


Figura 2 Estimador Kaplan Meier Memoria1



*Figura 3 Estimador Kaplan Meier Memoria 2*



*Figura 4 Estimador Kaplan Meier Memoria 3*

En un estricto sentido, podemos ver los saltos que dan por aquella fluctuación que hay en el estimador, pero también podemos apreciar que las memorias duran mucho más de lo que esperamos. Aunque aún no podemos concluir nada, con estas gráficas podemos ver que se pasan del valor estimado.

Calculamos la mediana, que no requiere conocer el tiempo de supervivencia de todos los pacientes y que se estima con el percentil 50 de la distribución, que corresponde al primer tiempo, con una proporción de supervivencia (probabilidad acumulada de supervivencia), igual o inferior a 0.5: sólo se trata de proyectar la

probabilidad de supervivencia del 0.5 sobre la curva y comprobar a qué tiempo le corresponde.

La cual es la siguiente:

Memoria 1	Memoria 2	Memoria 3
Mediana= 150000	Mediana= 170000	Mediana= 170000

Al comparar las medianas podemos considerar, que la primer memoria es de 150 Krads y las otras 2 Memorias (memoria 2 y memoria 3) es de 170 Krads.

Lo siguiente que hicimos, fue obtener la función de Riesgo de cada memoria que es la probabilidad de que a un individuo que está siendo observado en el tiempo  $t$  le suceda el evento de interés, en ese preciso momento.

- El término hazard corresponde a una *tasa instantánea*, que conceptualmente sólo requiere una duración de tiempo infinitesimal.
- Es la probabilidad condicional de presentar el evento en el siguiente instante de tiempo, con la condición de que no se haya presentado antes del inicio de ese instante.
- Se calcula simplemente dividiendo los sucesos ocurridos en ese instante entre el total de sujetos en riesgo.

Aquí mostramos las siguientes gráficas:

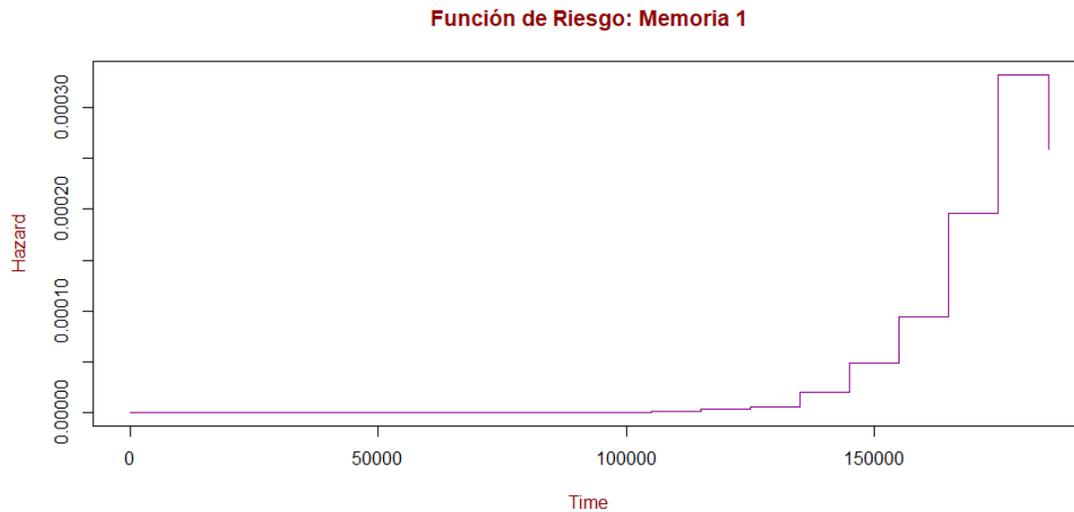


Figura 5 Función de Riesgo Memoria 1

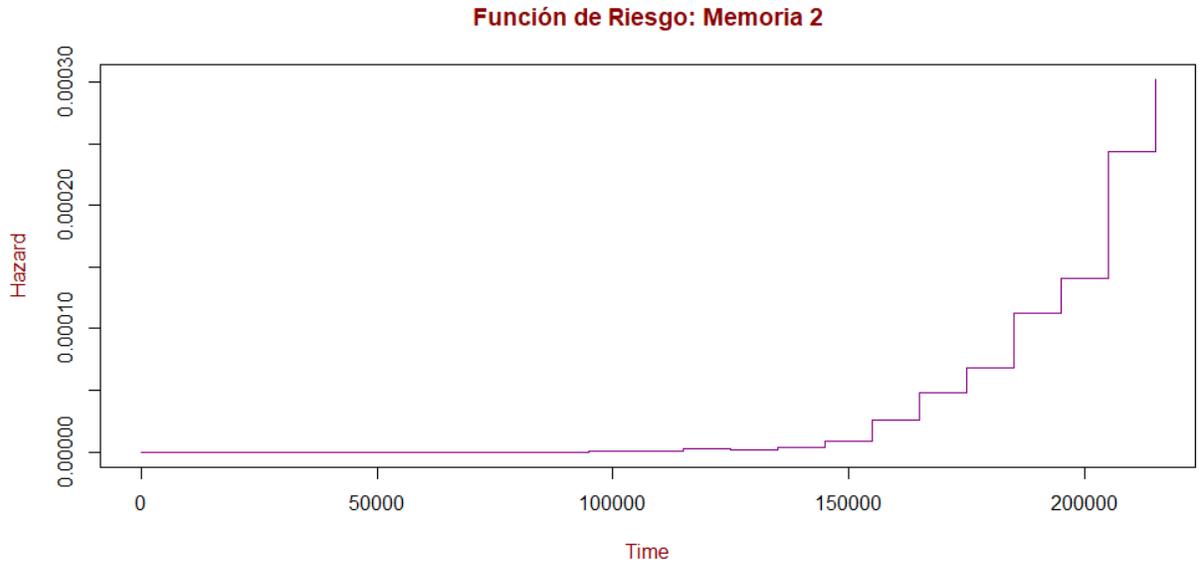


Figura 6 Función de Riesgo Memoria 2

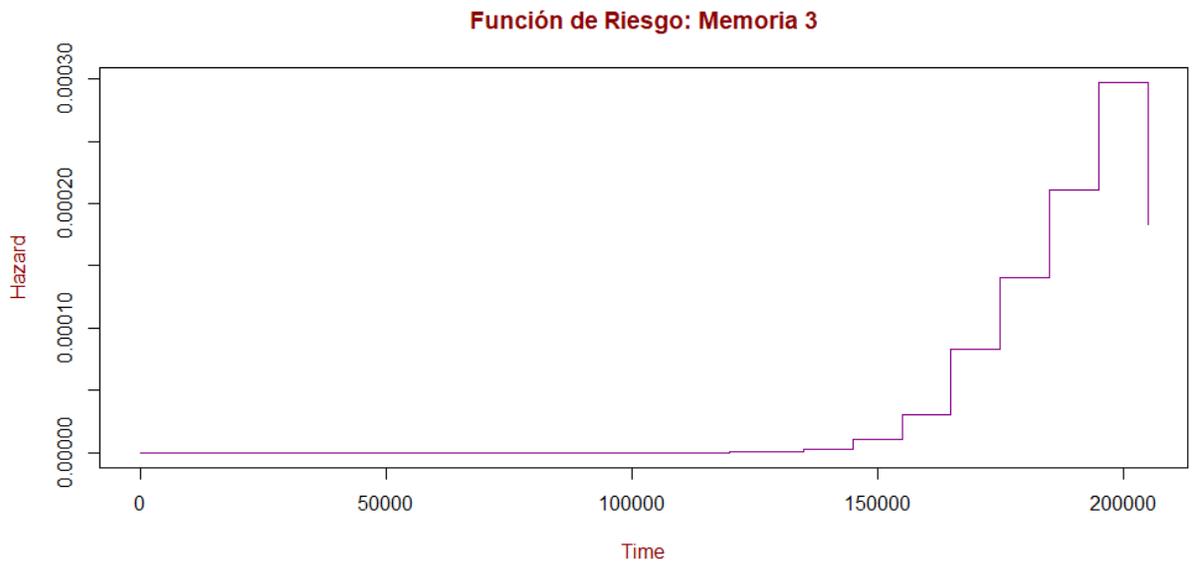


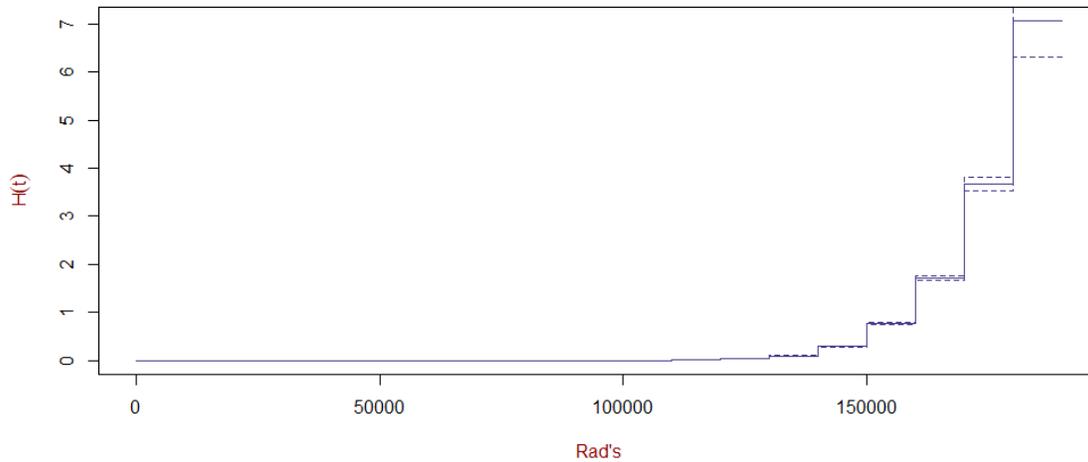
Figura 7 Función de Riesgo Memoria 3

Podemos ver, que tenemos una función que crece después de los 100 Krad's y que en la Memoria 1 y Memoria 3 al final decae.

Ahora, obtuvimos las Funciones de Riesgo Acumulado con sus correspondientes intervalos de Confianza, mismas que se definen cómo:

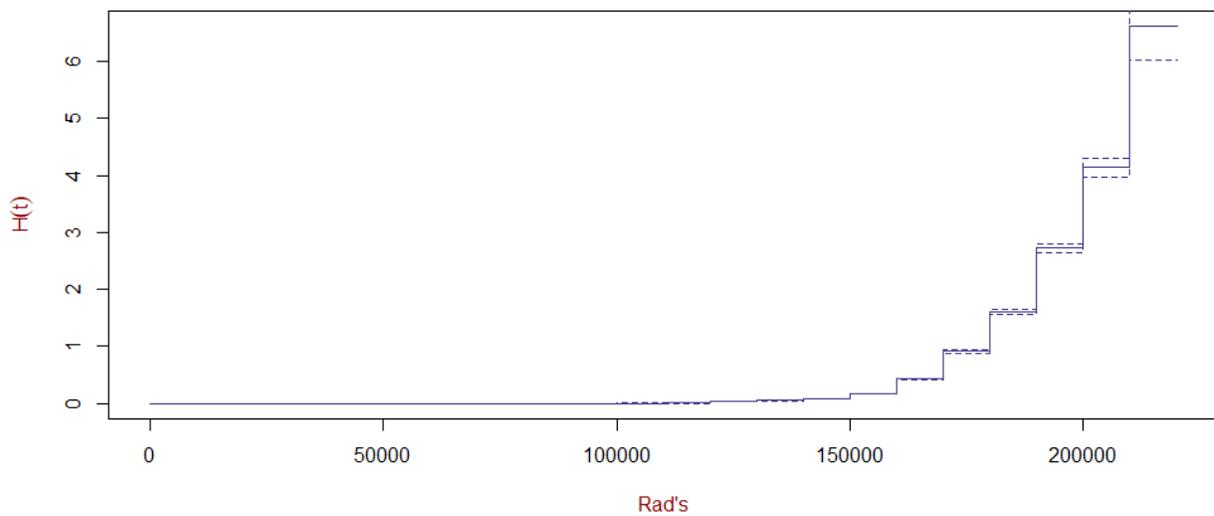
La función de Riesgo Acumulado consiste en la suma de  $h(t)$  y se utiliza, para ver qué tanto se acumula el Riesgo en una función continua.

**Función de riesgo acumulado Memoria 1**



*Figura 8 Función de Riesgo Acumulado Memoria 1*

**Función de riesgo acumulado Memoria 2**



*Figura 9 Función de Riesgo Acumulado Memoria 2*

### Función de riesgo acumulado Memoria 3

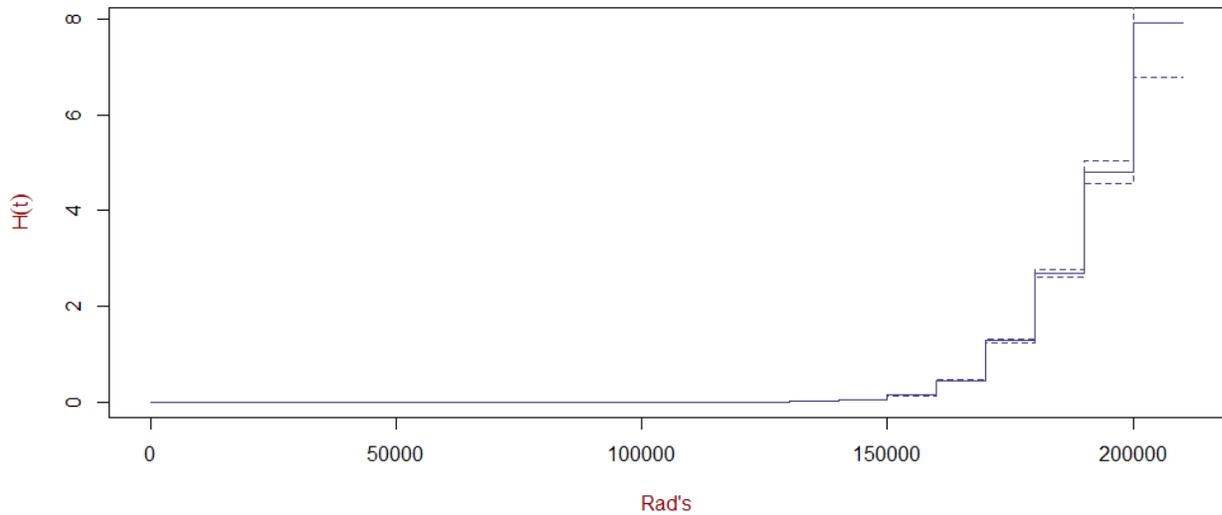
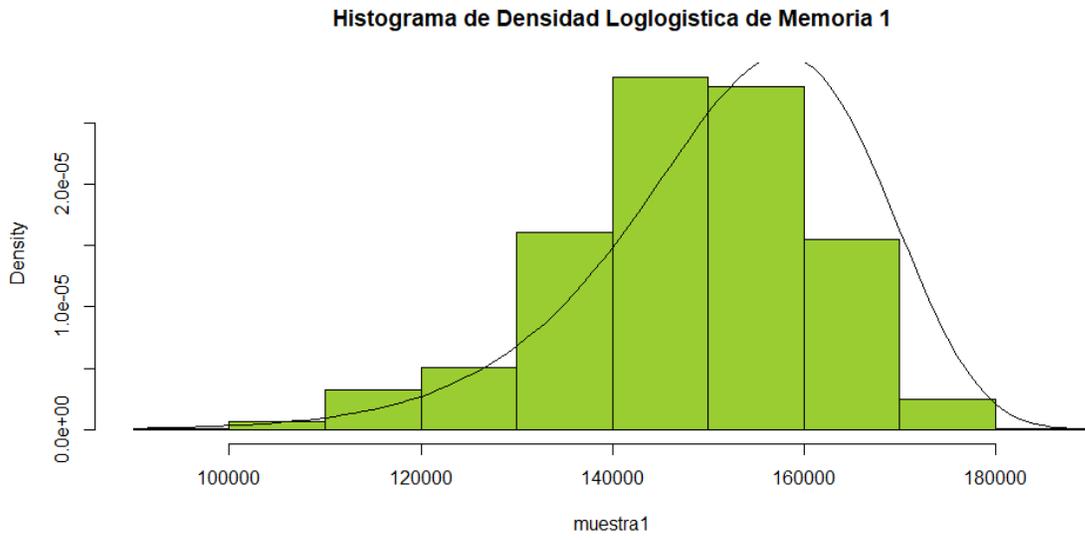


Figura 10 Función de Riesgo Acumulado Memoria 3

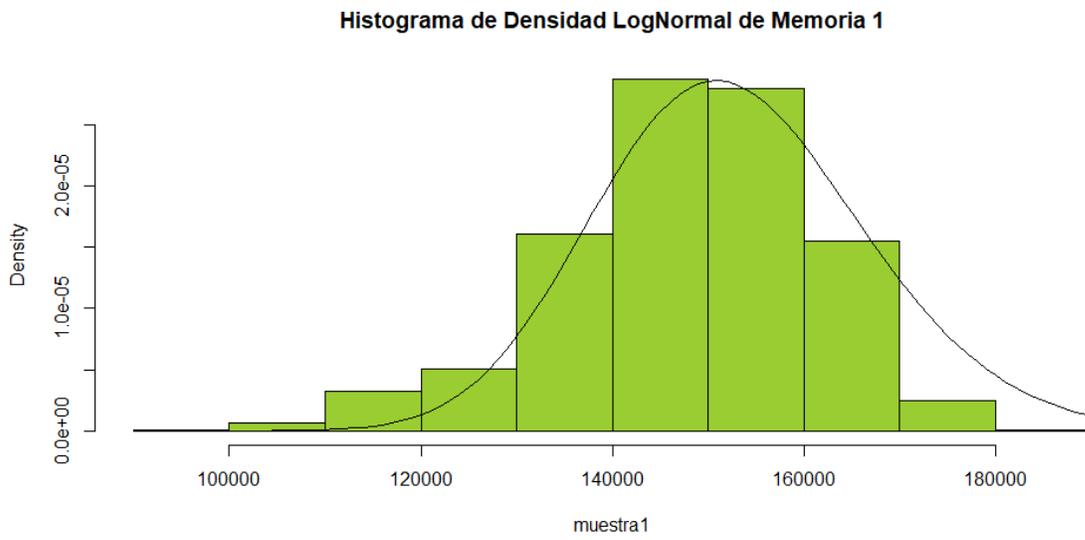
Una vez más podemos observar que el Riesgo comienza a partir de los 100 Krads.

Después de hacer el análisis empírico comenzamos el Ajuste de Curvas, para estimar cuál es la mejor distribución que se acomoda.

Iniciamos entonces, el histograma con la función de Densidad probando con las diferentes distribuciones que mencionamos anteriormente.

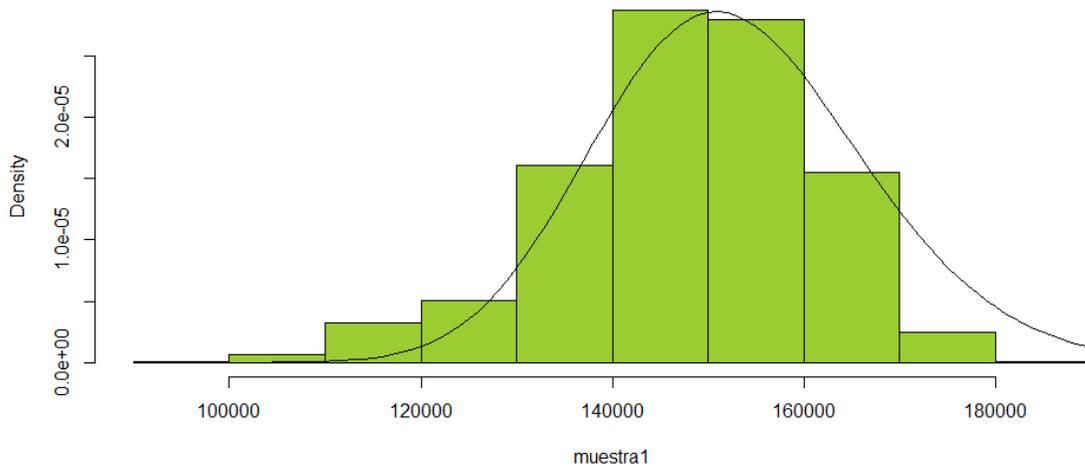


*Figura 11 Densidad Loglogística Memoria 1*



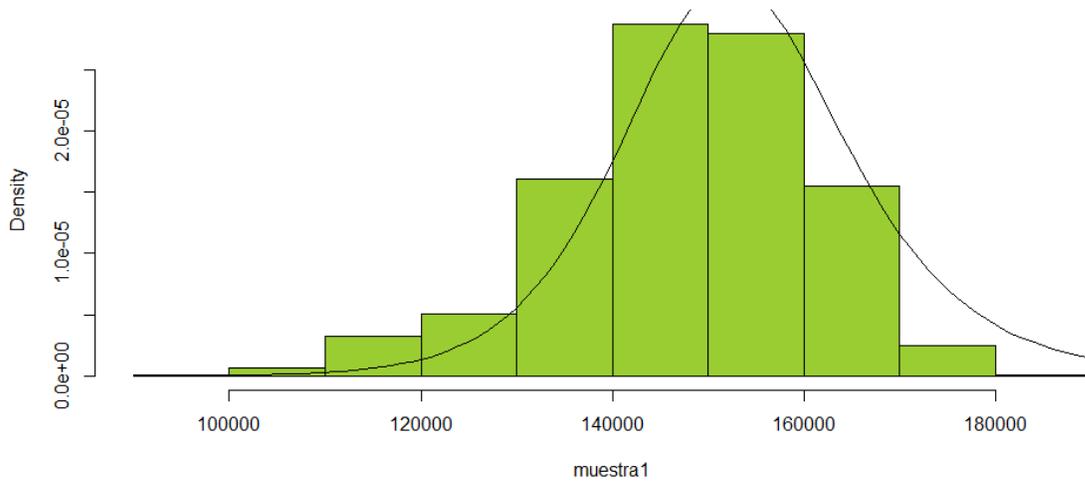
*Figura 12 Densidad Lognormal Memoria 1*

**Histograma de Densidad Logística de Memoria 1**



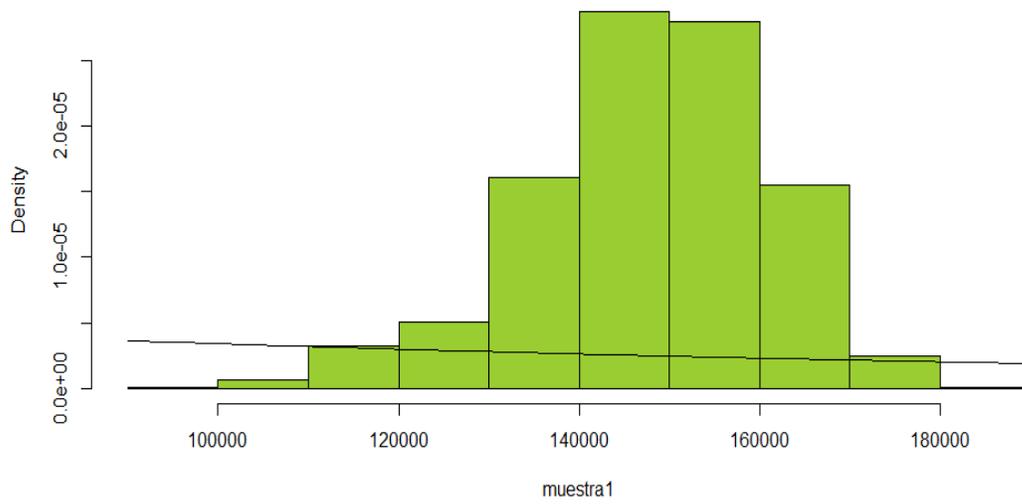
*Figura 13 Densidad Logística Memoria 1*

**Histograma de Densidad Normal de Memoria 1**



*Figura 14 Densidad Normal Memoria 1*

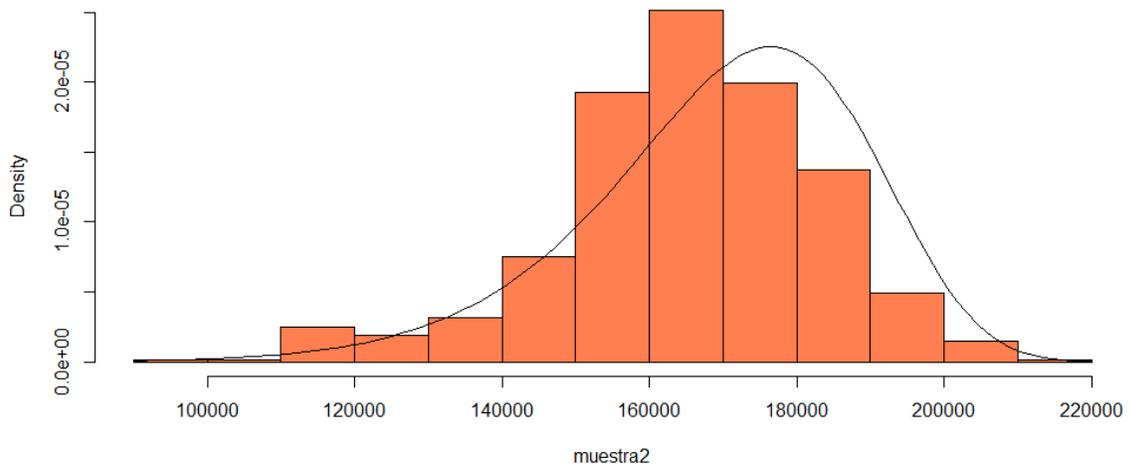
**Histograma de Densidad Exponencial de Memoria 1**



*Figura 15 Densidad Exponencial Memoria 1*

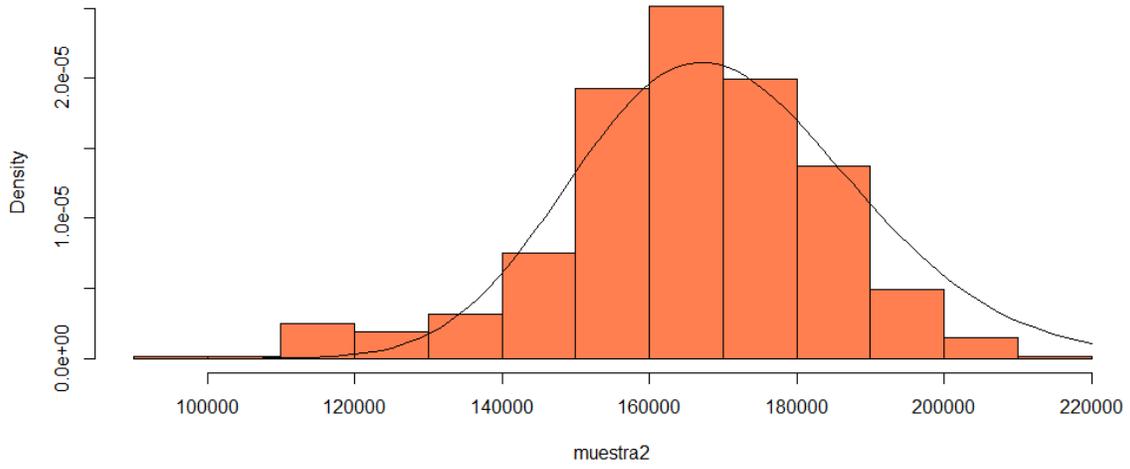
## **Memoria 2**

**Histograma de Densidad LogLogística de Memoria 2**



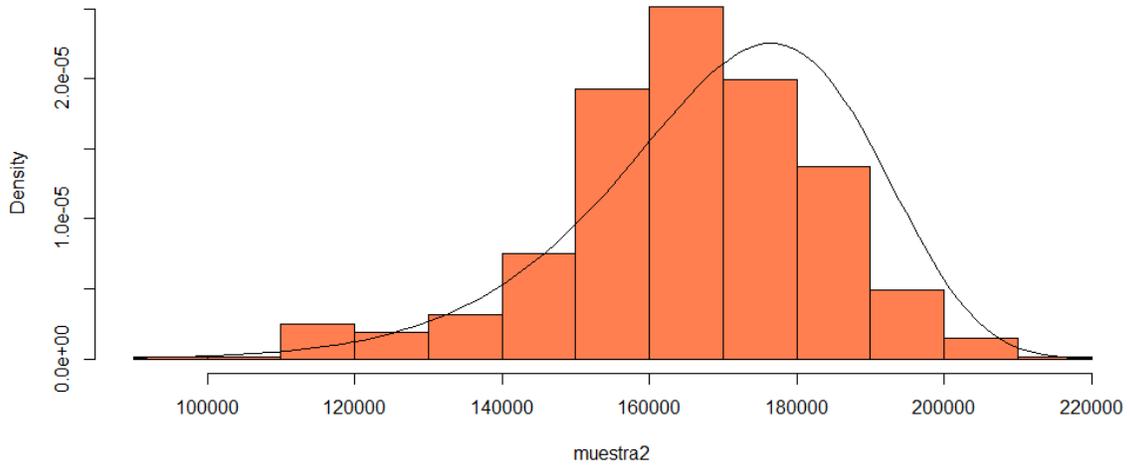
*Figura 16 Densidad Loglogística Memoria 2*

**Histograma de Densidad LogNormal de Memoria 2**



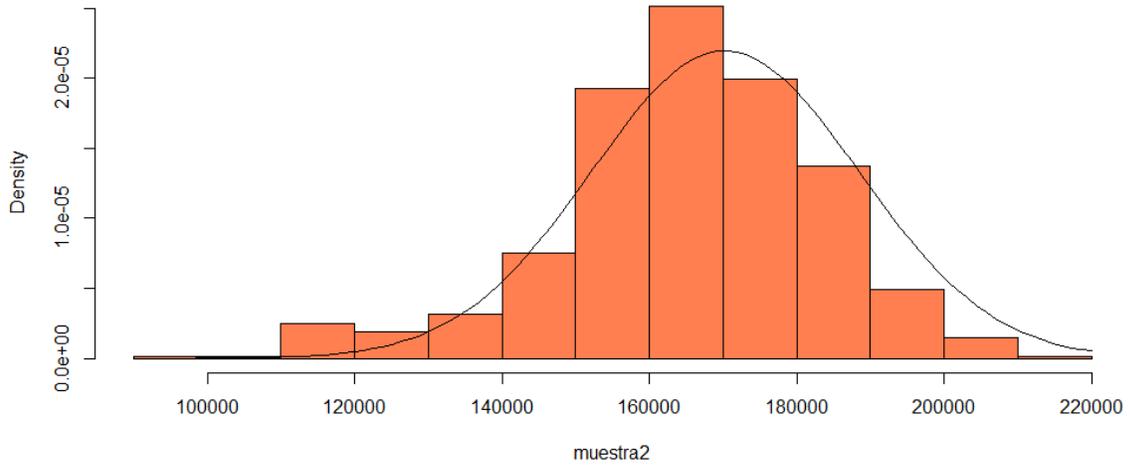
*Figura 17 Densidad LogNormal Memoria 2*

**Histograma de Densidad Logística de Memoria 2**



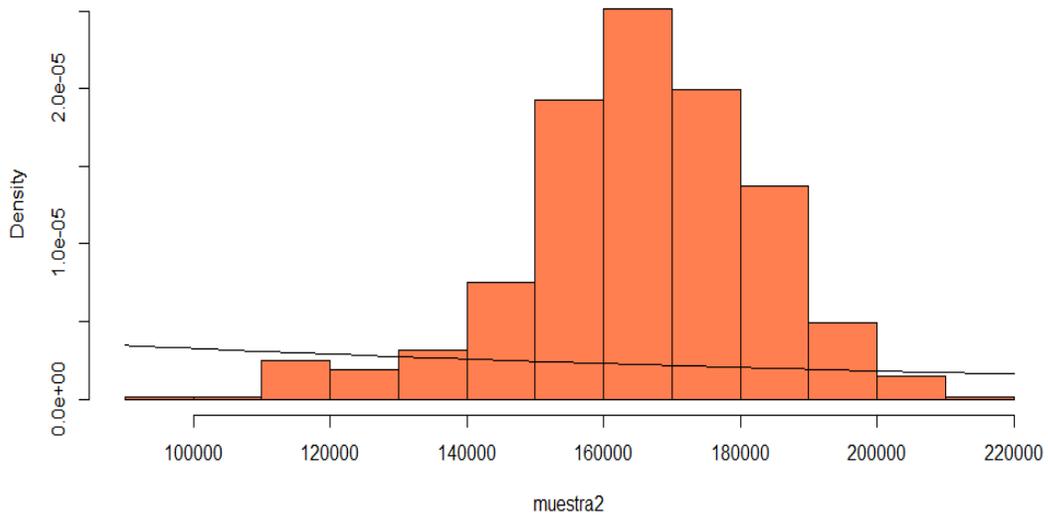
*Figura 18 Densidad Logística Memoria 2*

**Histograma de Densidad Normal de Memoria 2**



*Figura 19 Densidad Normal Memoria 2*

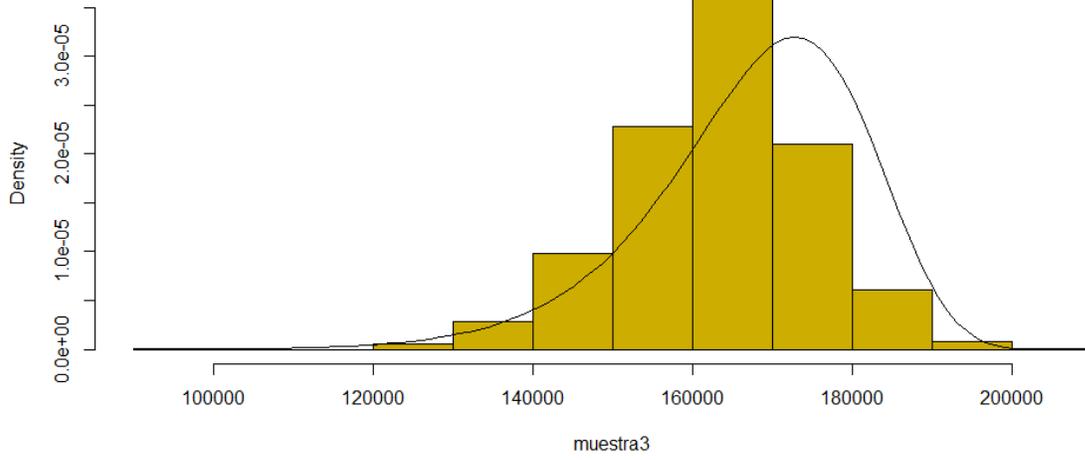
**Histograma de Densidad Exponencial de Memoria 2**



*Figura 20 Densidad Exponencial Memoria 2*

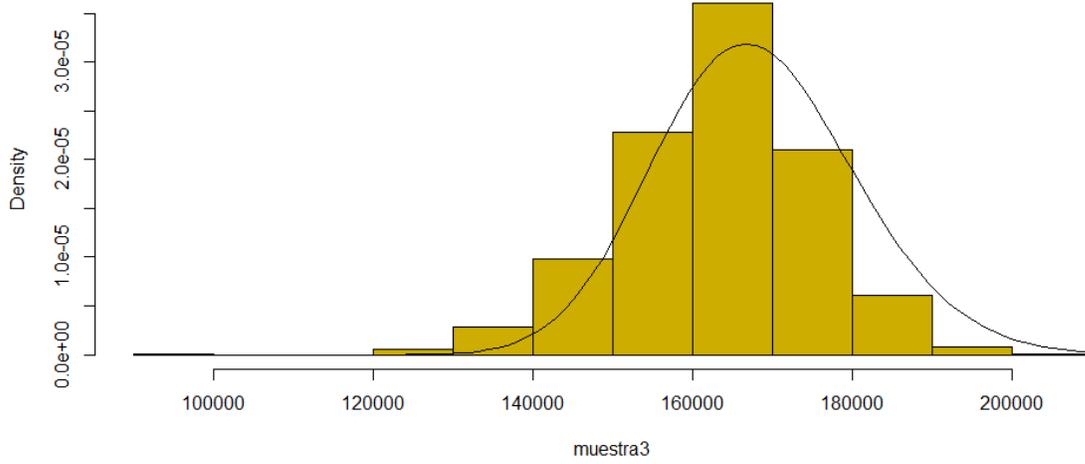
### **Memoria 3**

**Histograma de Densidad Loglogística de Memoria 3**



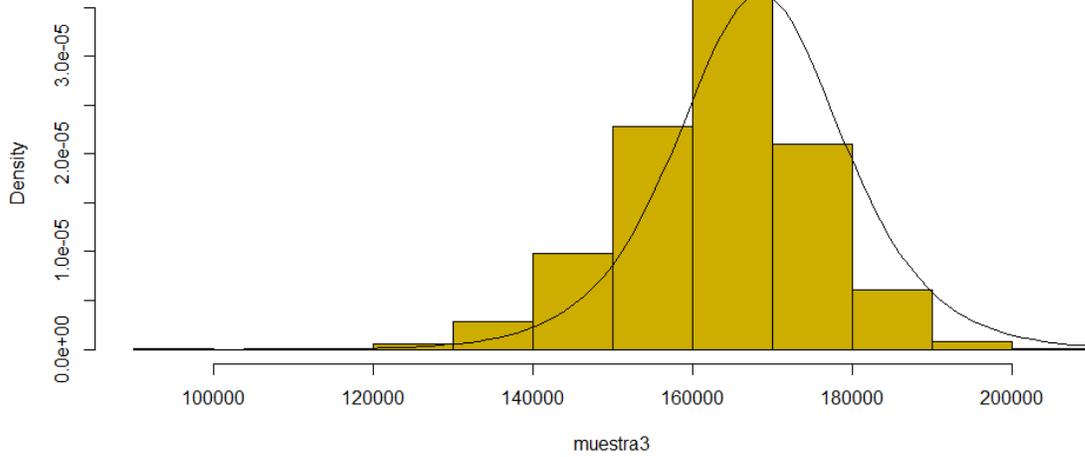
*Figura 21 Densidad Loglogística Memoria 3*

**Histograma de Densidad LogNormal de Memoria 3**



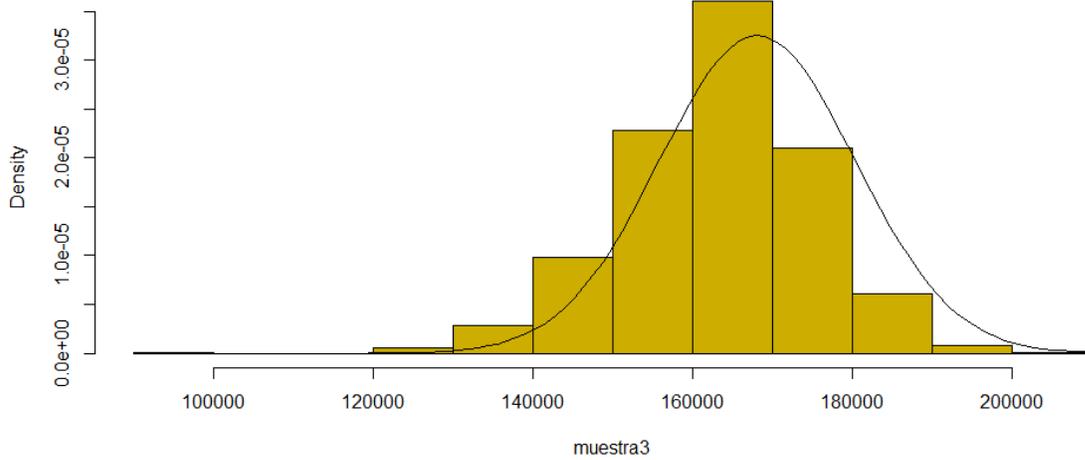
*Figura 22 Densidad LogNormal Memoria 3*

**Histograma de Densidad Logística de Memoria 3**



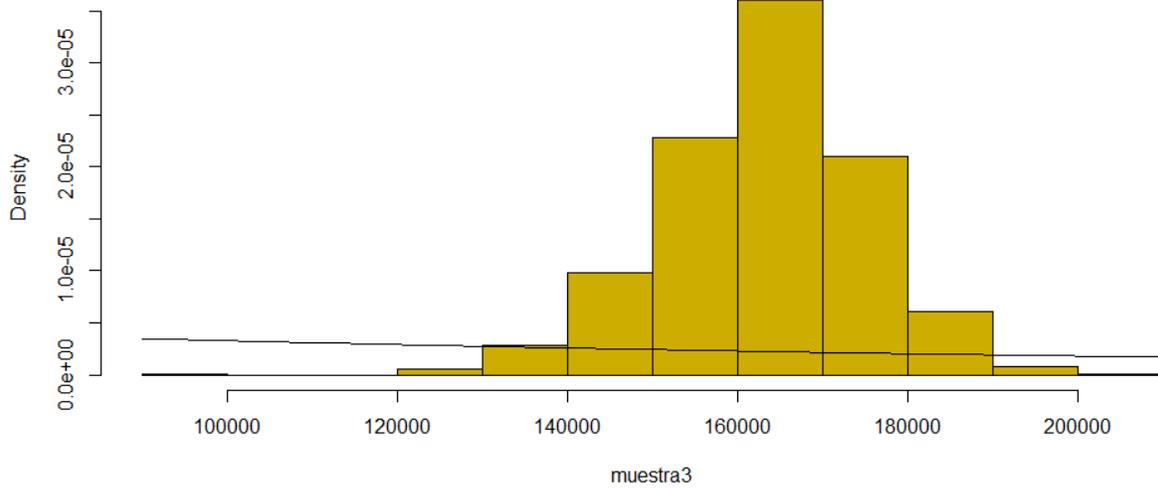
*Figura 23 Densidad Logística Memoria 3*

**Histograma de Densidad Normal de Memoria 3**



*Figura 24 Densidad Normal Memoria 3*

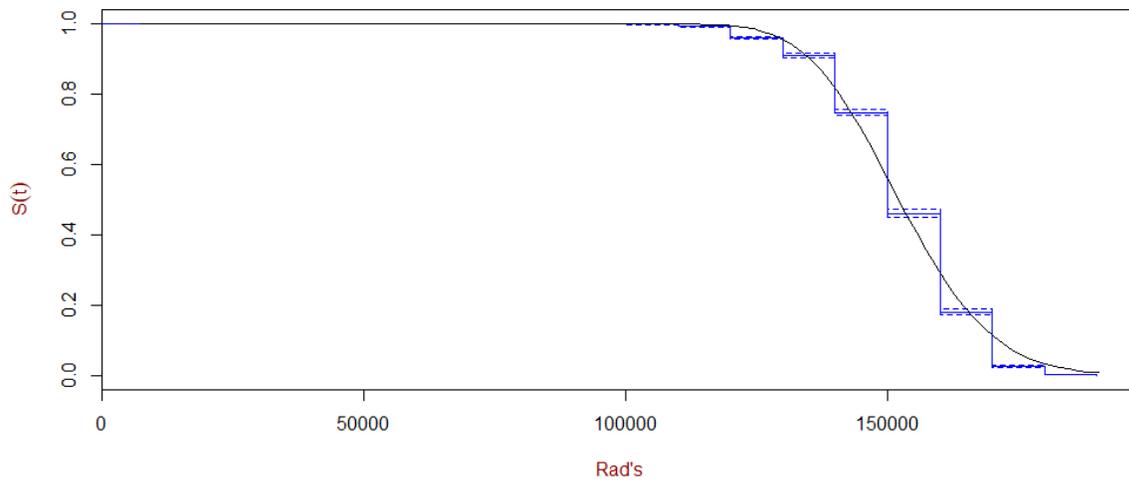
**Histograma de Densidad Exponencial de Memoria 3**



*Figura 25 Densidad Exponencial Memoria 3*

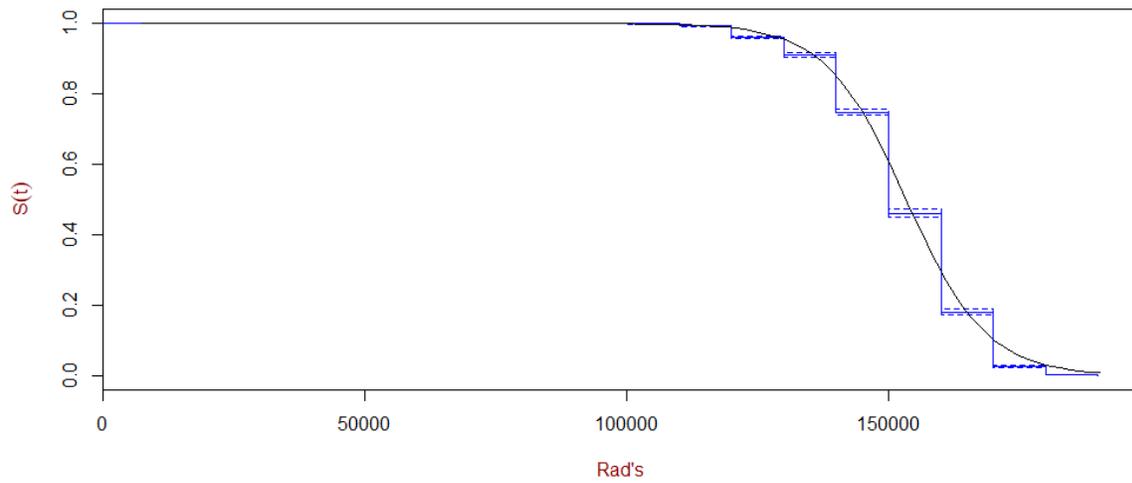
Una vez más mostramos el Estimador Kaplan Meier, pero ahora tratando de ajustar la curva conforme a éste, lo cual nos da los siguientes resultados:

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Lognormal Memoria 1**



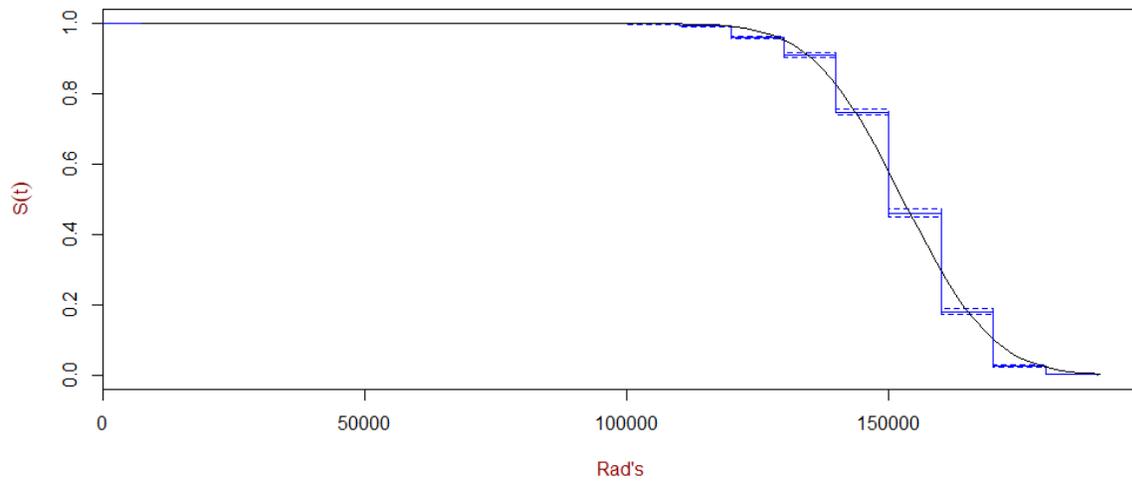
*Figura 26 Ajuste de Curvas K-M Log-normal Memoria 1*

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Logística Memoria 1**



*Figura 27 Ajuste de Curvas K-M Logística Memoria 1*

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Normal Memoria 1**



*Figura 28 Ajuste de Curvas K-M Normal Memoria 1*

### Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Exponencial Memoria 1

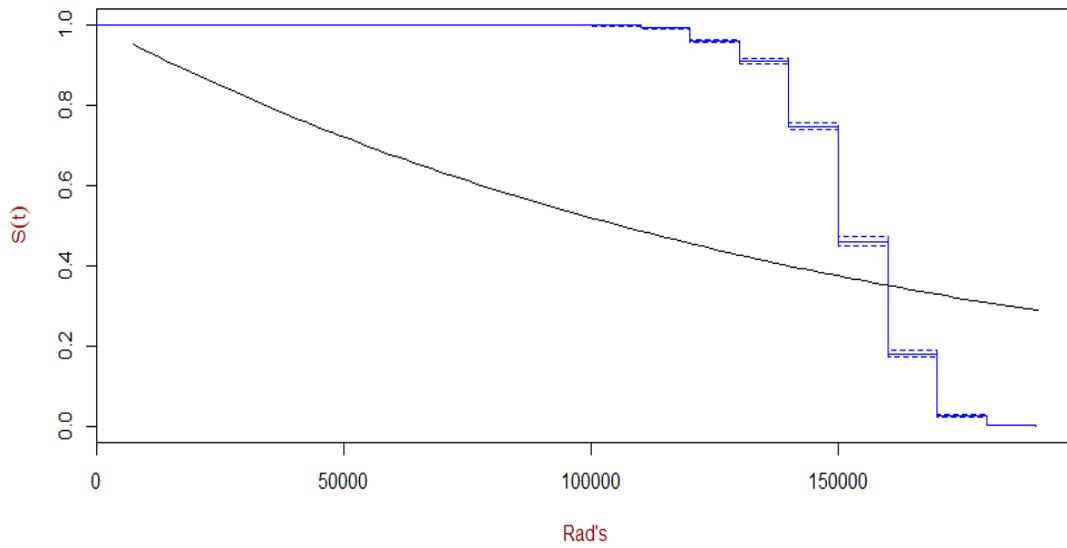


Figura 29 Ajuste de Curvas K-M Exponencial Memoria 1

### Memoria 2

#### Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas LogLogística Memoria 2

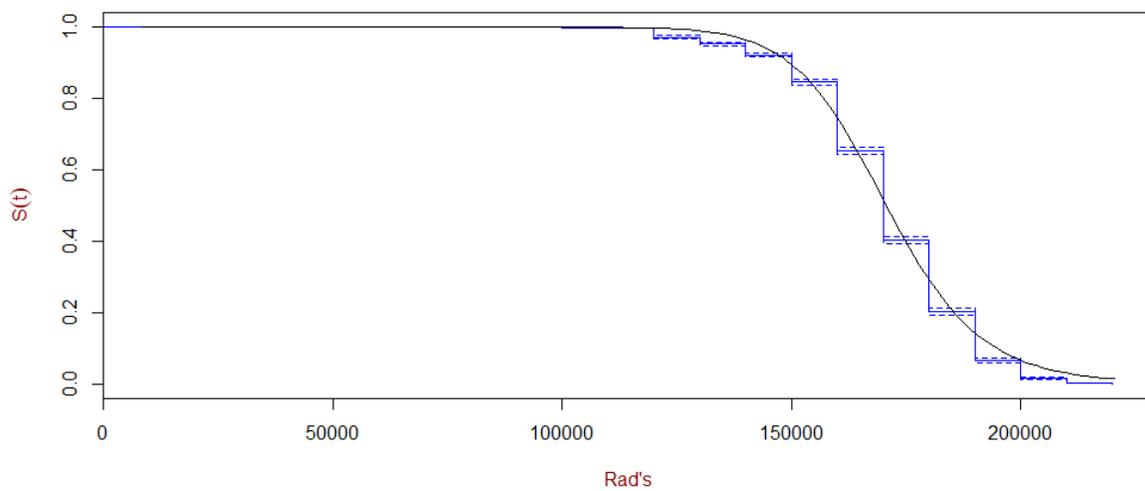
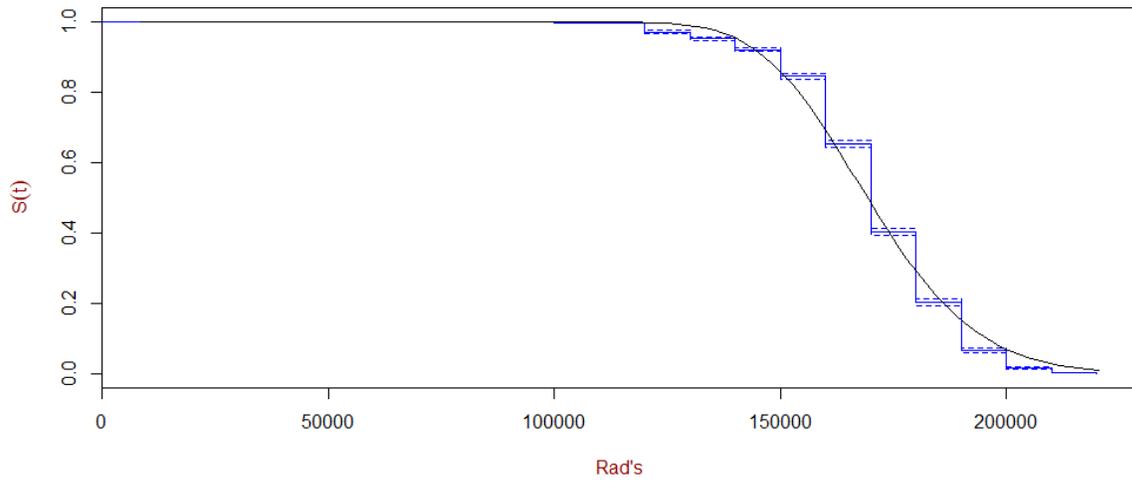


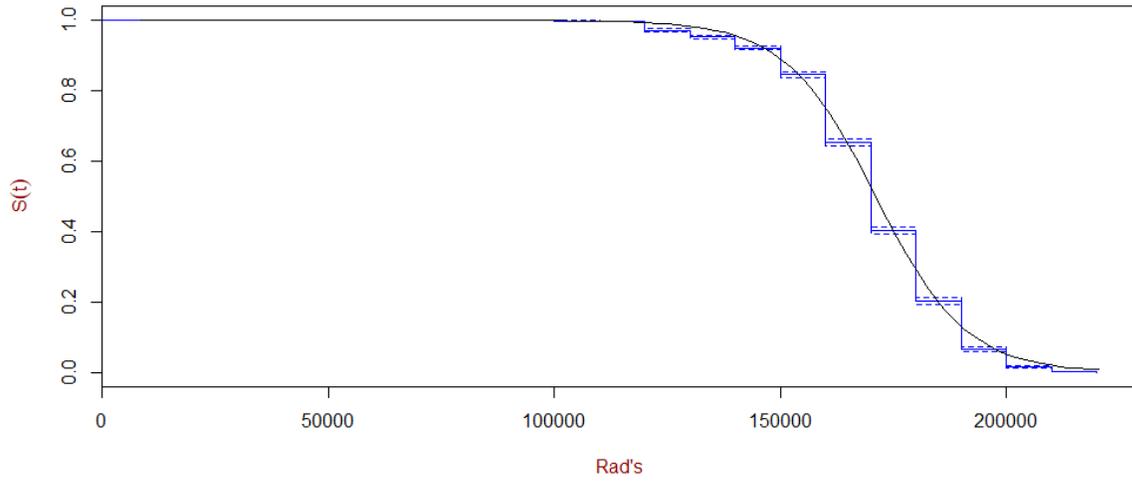
Figura 30 Ajuste de Curvas K-M Loglogística Memoria 2

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Lognormal Memoria 2**



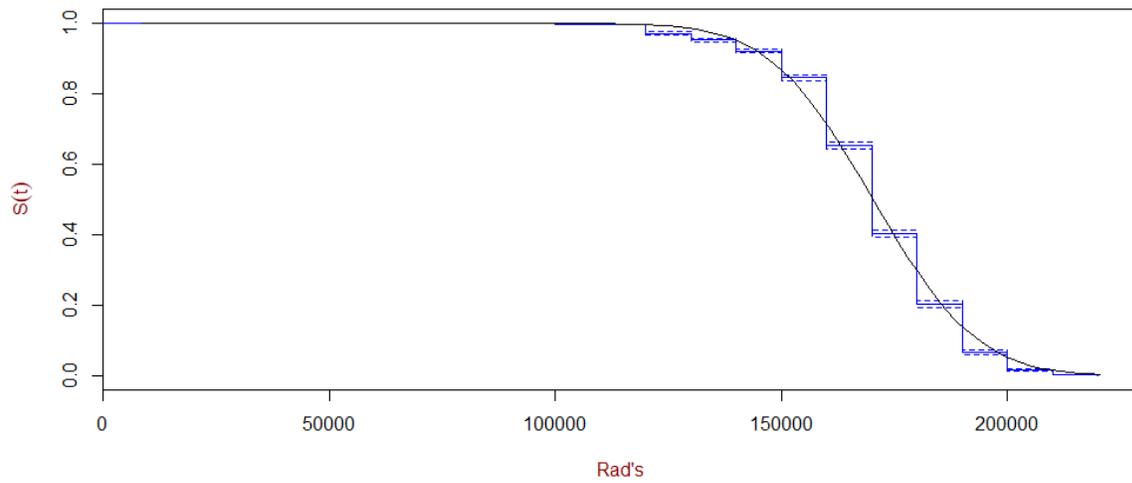
*Figura 31 Ajuste de Curvas K-M Lognormal Memoria 2*

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Logística Memoria 2**



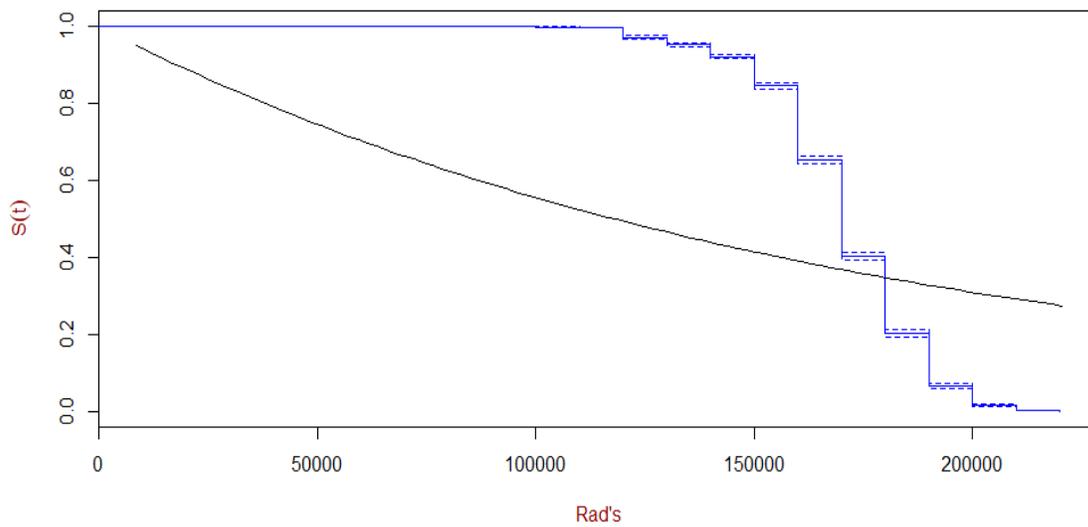
*Figura 32 Ajuste de Curvas K-M Logística Memoria 2*

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Normal Memoria 2**



*Figura 33 Ajuste de Curvas K-M Normal Memoria 2*

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Exponencial Memoria 2**



*Figura 34 Ajuste de Curvas K-M Exponencial Memoria 2*

**Memoria 3**

### Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Exponencial Memoria 3

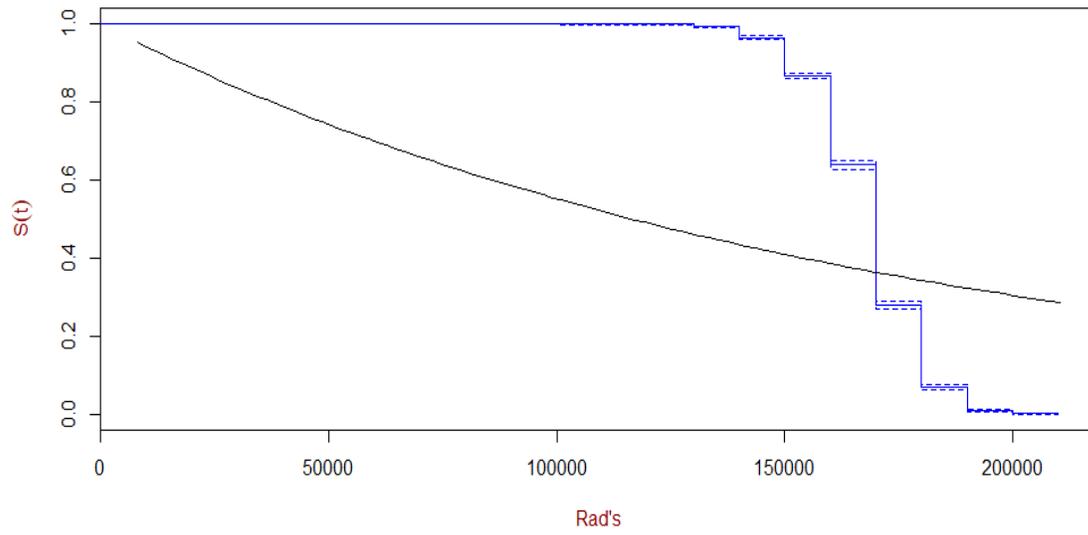


Figura 35 Ajuste de Curvas K-M Exponencial Memoria 3

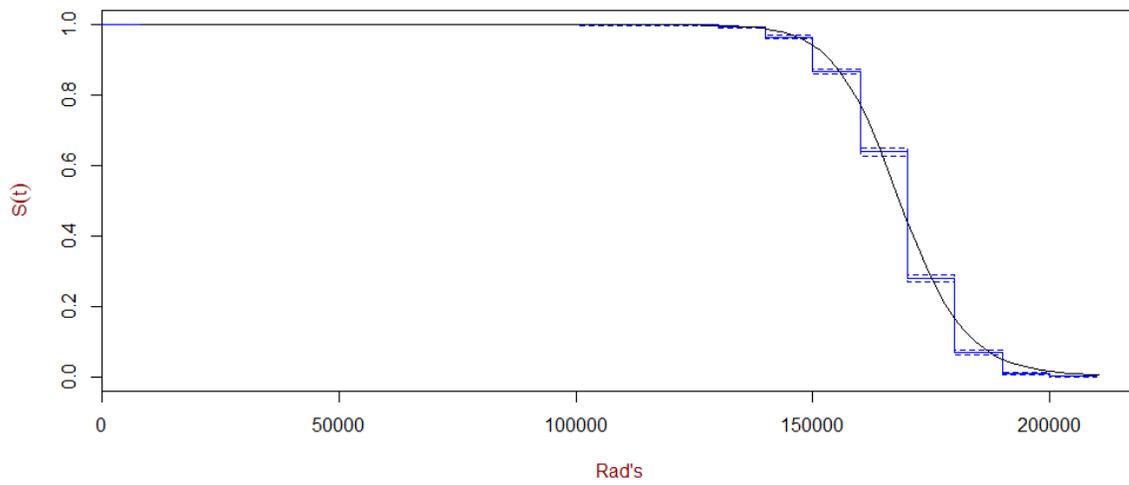
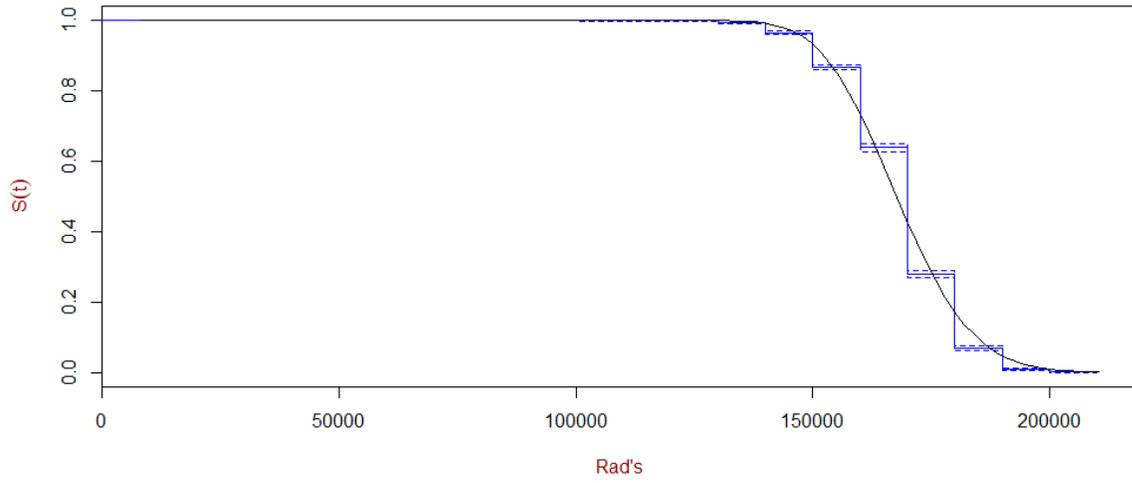


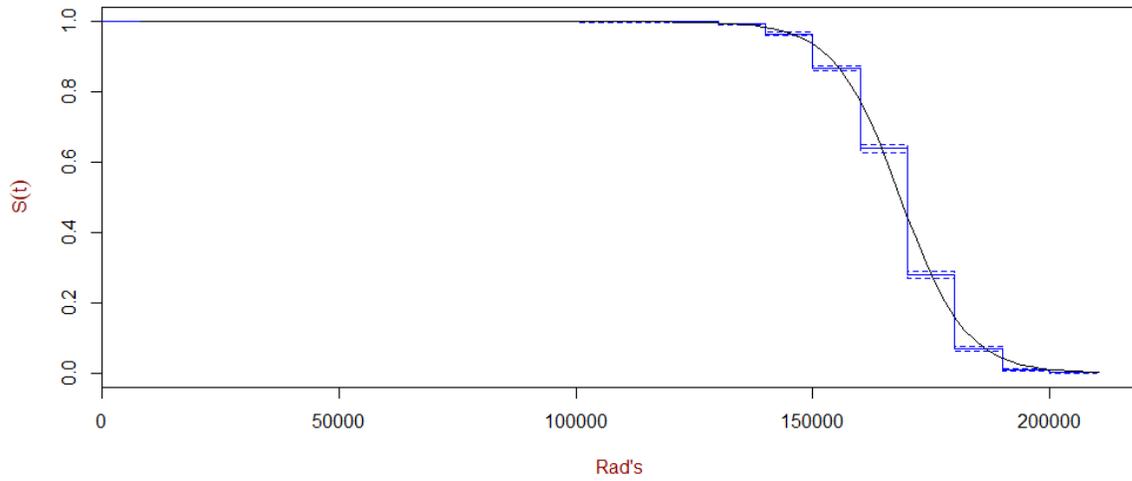
Figura 36 Ajuste de Curvas K-M Loglogística Memoria 3

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Lognormal Memoria 3**

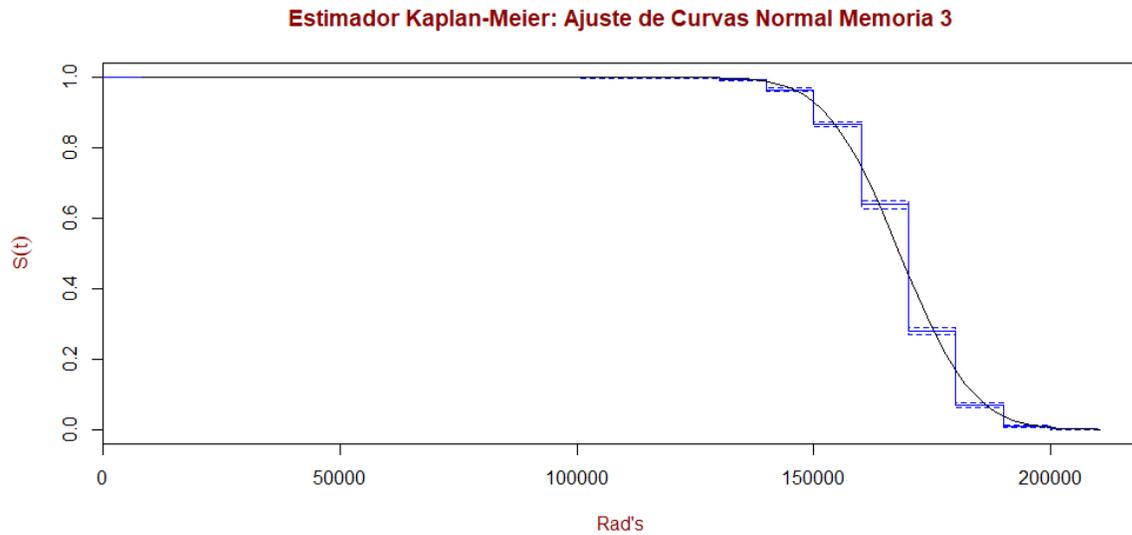


*Figura 37 Ajuste de Curvas K-M Lognormal Memoria 3*

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Logística Memoria 3**



*Figura 38 Ajuste de Curvas K-M Logística Memoria 3*



*Figura 39 Ajuste de Curvas K-M Normal Memoria 3*

Haciendo el Estimador Kaplan Meier, con el ajuste de curvas, no podemos concluir nada ya que varias distribuciones pueden ser las adecuadas, por lo que seguimos sin estar seguros de qué distribución es la adecuada.

Obtuvimos los parámetros deseados de cada distribución, para después hacer una prueba de hipótesis y finalmente hacer el QQ-Plot y con ello, definir la mejor distribución.

<b>Distribución</b>	<b>Memoria</b>	<b>Parámetro 1</b>	<b>Parámetro 2</b>
<b>Log-normal</b>	1	11.93261	0.09189883
	2	12.03915	0.112227
	3	12.02997	0.0784376
<b>Logística</b>	1	153392.8	7640.554
	2	171069.6	10002.2
	3	168514.6	6875.109
<b>Log-logística</b>	1	153122.8	19.70785
	2	170682	16.69015
	3	168323.6	24.23505

<b>Normal</b>	1	152775.9	13559.03
	2	170283.2	18163.83
	3	168167.7	12279.29
<b>Exponencial</b>	1	6545536	
	2	587257	
	3	5946444	

## AIC

El criterio de información de AIC es una medida de la bondad de ajuste de un modelo estadístico. Se puede decir que describe la relación entre el sesgo y varianza en la construcción del modelo, o hablando de manera general acerca de la exactitud y complejidad del modelo.

El AIC no es una prueba del modelo en el sentido de prueba de hipótesis. Más bien, proporciona un medio, para la comparación entre los modelos de una herramienta, para la selección del modelo. Dado un conjunto de datos, varios modelos candidatos pueden ser clasificados de acuerdo a su AIC, con el modelo que tiene el mínimo AIC es la mejor.

En el caso general, el AIC es  $AIC = 2k - 2\ln(L)$  donde  $k$  es el número de parámetros en el modelo estadístico, y  $L$  es el máximo valor de la función de verosimilitud para el modelo estimado.

Por lo tanto el AIC mide la bondad de ajuste a partir de la máxima verosimilitud del modelo, y la complejidad a partir del número de parámetros.

De acuerdo a esto obtuvimos qué modelo es mejor dependiendo del AIC. Sólo hicimos la comparación de los modelos que se estaban adecuando más de acuerdo a nuestro análisis anterior, por lo que sacamos de la distribución Log-Logística, Log-normal y la Weibull. Estos son los resultados:

### Log-logística

Memoria 1	Memoria 2	Memoria 3
Log-likelihood: -89708.04	Log-likelihood: -92040.69	Log-likelihood: -88802.33
AIC: 179420.1	AIC: 184085.4	AIC: 177708.7

### Log-normal

Memoria 1	Memoria 2	Memoria 3
Log-likelihood: -89821.02	Log-likelihood: -92330.86	Log-likelihood: -88936.89
AIC: 179646	AIC: 184665.7	AIC: 177877.8

### QQ-PLOT

El QQ-Plot es un gráfico Cuantil-Cuantil que permite observar, qué tan cerca está la distribución de un conjunto de datos a alguna distribución ideal o comparar la distribución de dos conjuntos de datos.

La función `qqplot(x, y, plot=T)` grafica las funciones quantile de una muestra vs. la de la otra.

---

Principales alejamientos respecto de la distribución Normal que pueden visualizarse en un gráfico cuantil- cuantil

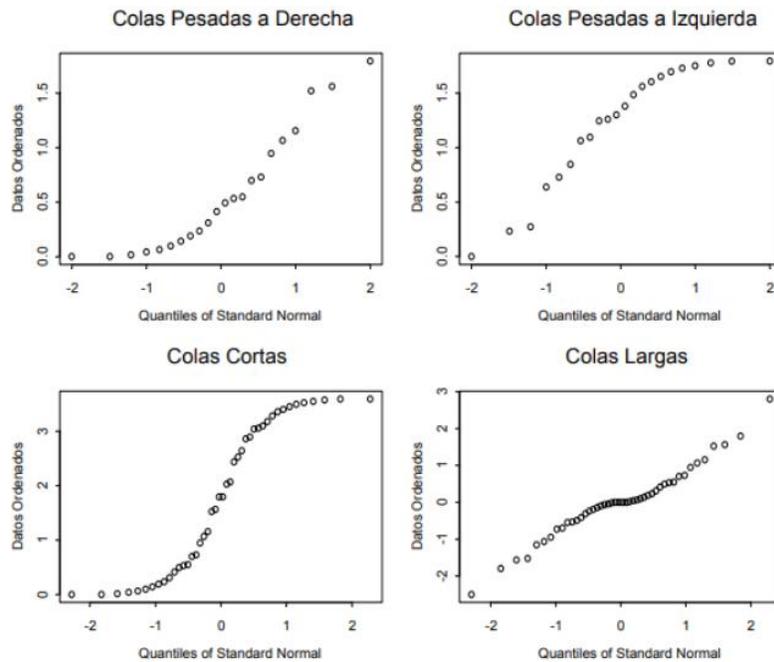
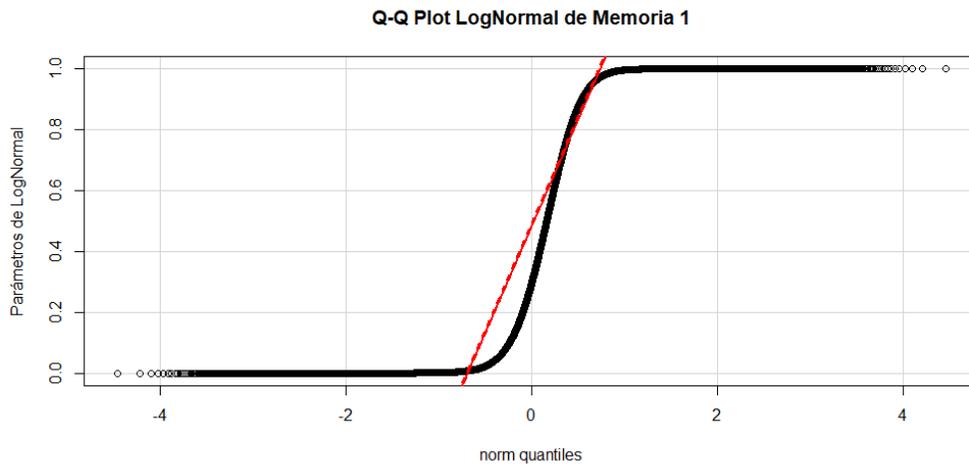


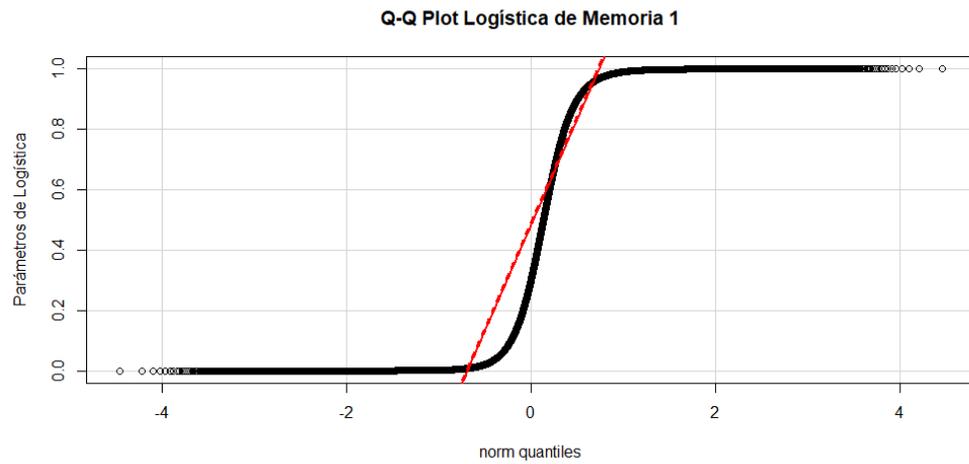
Figura 40 Diferentes alejamientos de QQ-Plot

Ahora, para finalizar haremos el QQ-Plot de las 3 Memorias, para concluir qué distribución es la que más se apega a nuestro Ajuste de Curvas:

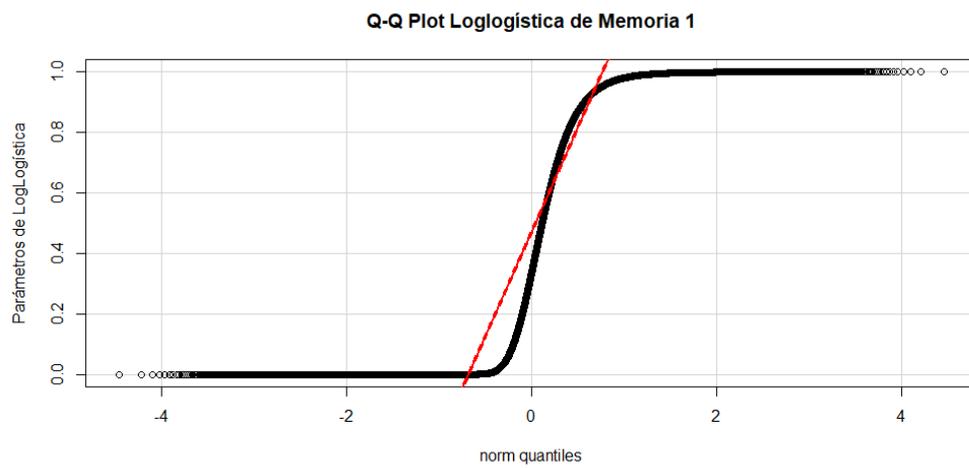
### Memoria 1



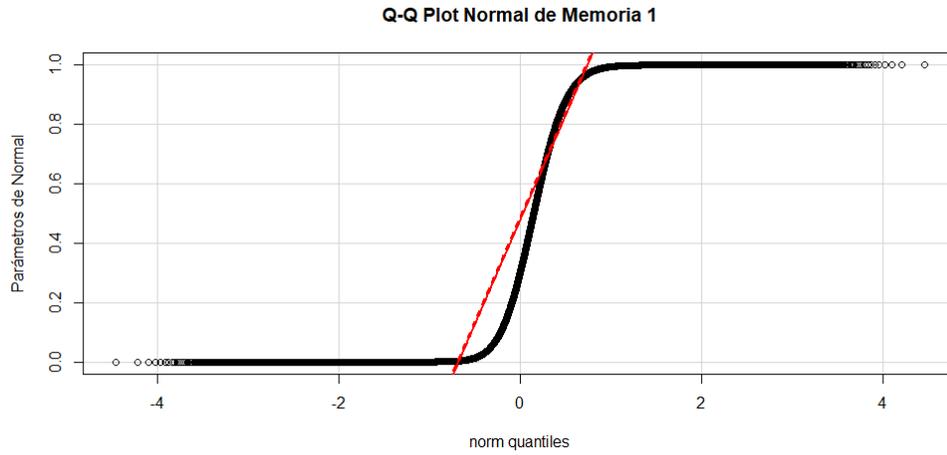
*Figura 41 QQ-Plot Lognormal Memoria 1*



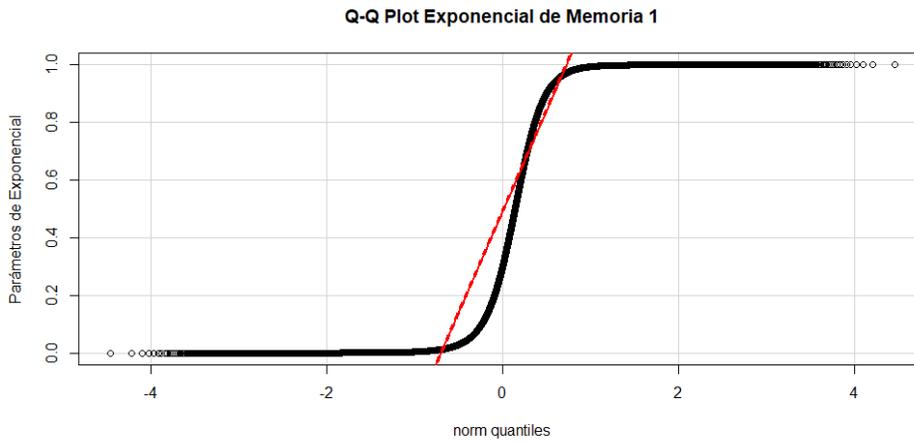
*Figura 42 QQ-Plot Logística Memoria 1*



*Figura 43 QQ-Plot Loglogística Memoria 1*

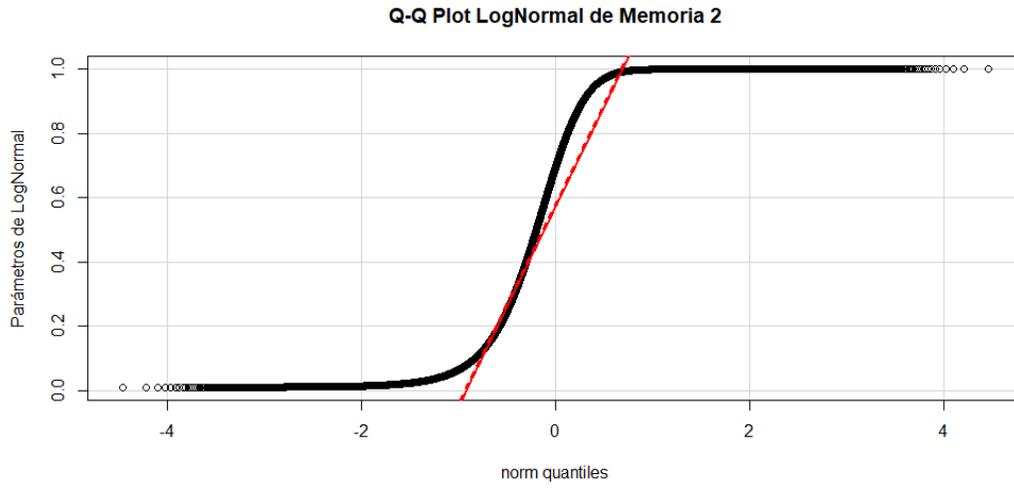


*Figura 44 QQ-Plot Normal Memoria 1*

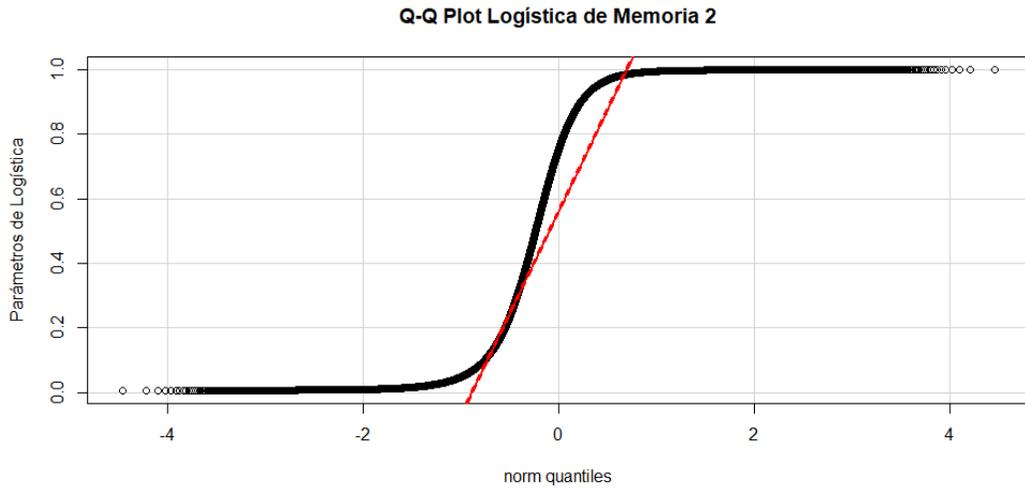


*Figura 45 QQ-Plot Exponencial Memoria 1*

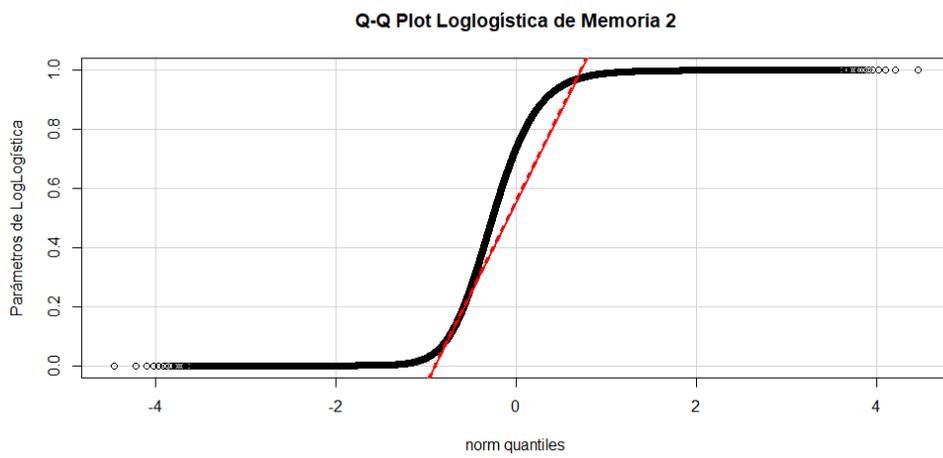
## Memoria 2



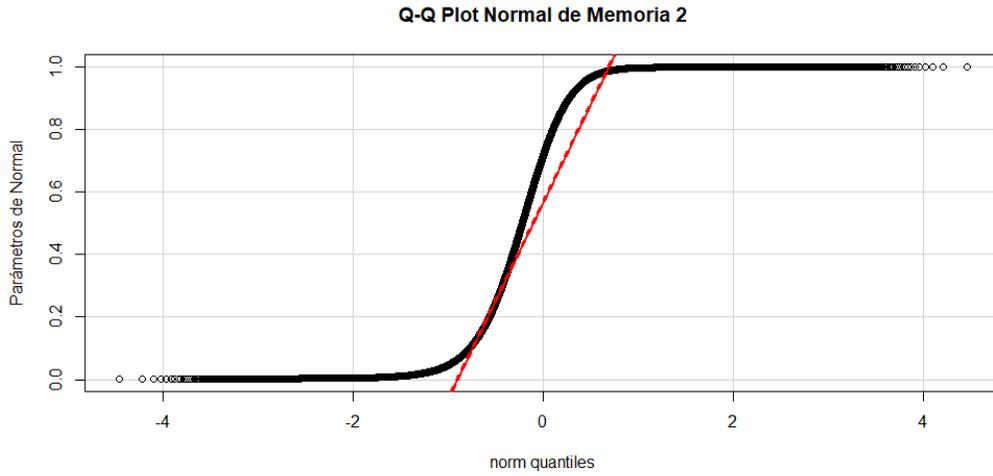
*Figura 46 QQ-Plot LogNormal Memoria 2*



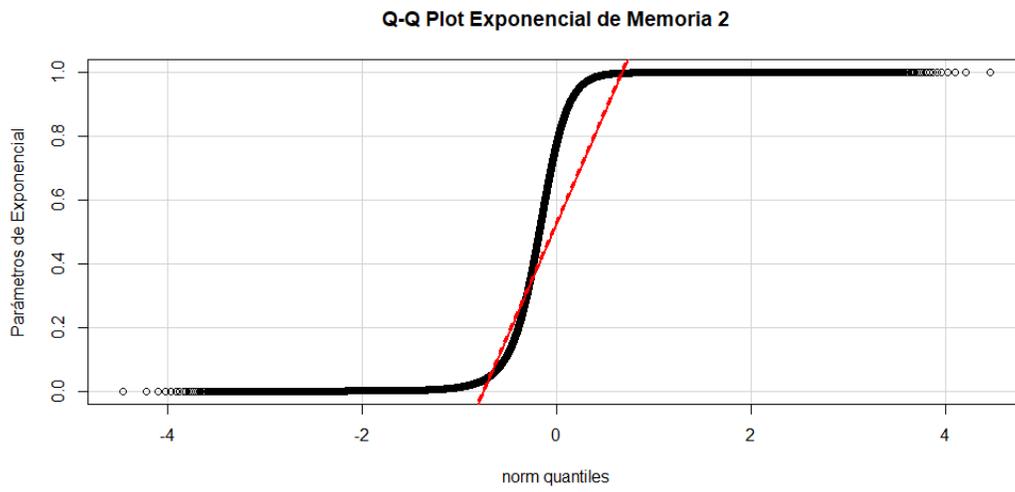
*Figura 47 QQ-Plot Logística Memoria 2*



*Figura 48 QQ-Plot Loglogística Memoria 2*



*Figura 49 QQ-Plot Normal Memoria 2*



*Figura 50 QQ-Plot Exponencial Memoria 2*

## Memoria 3

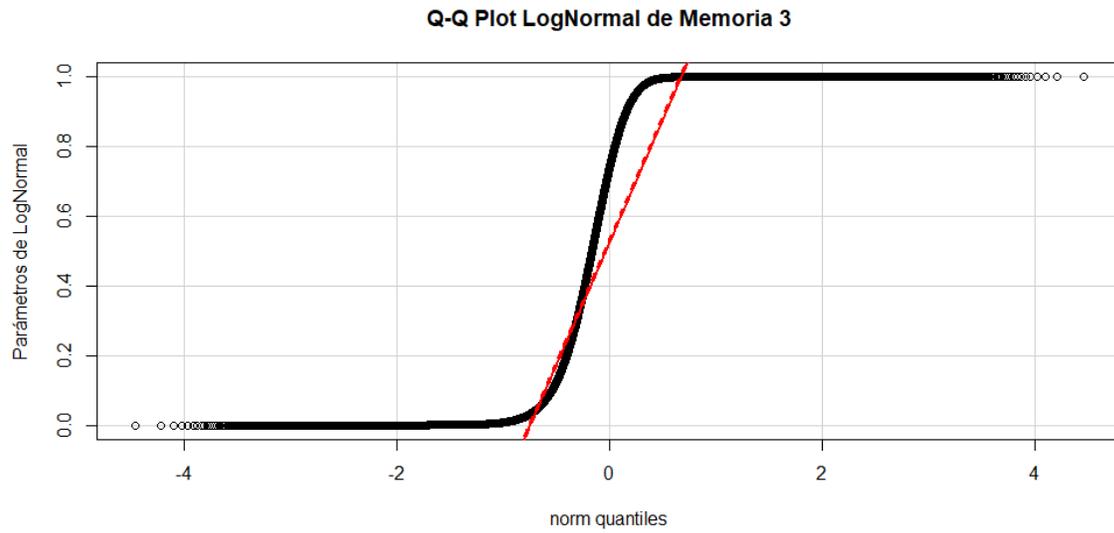
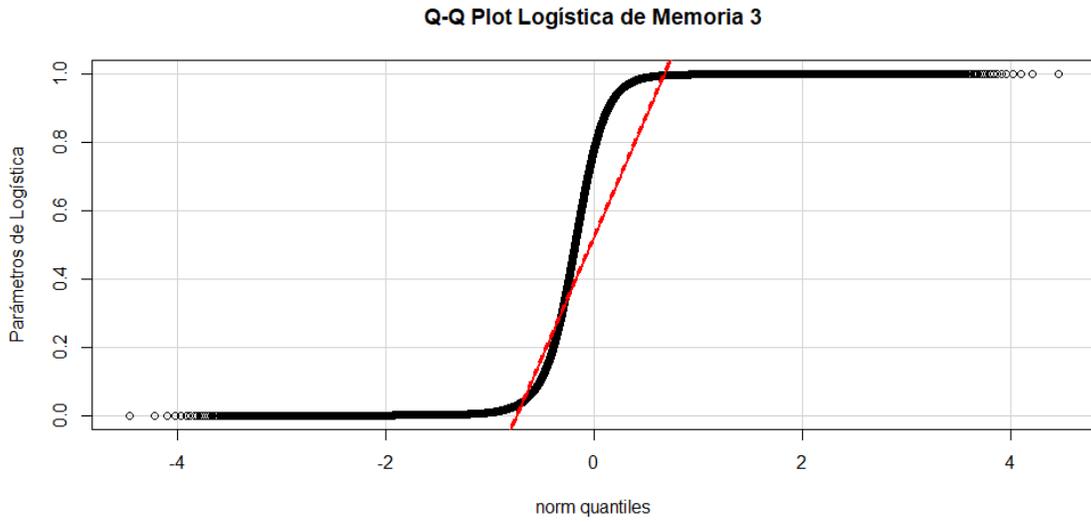
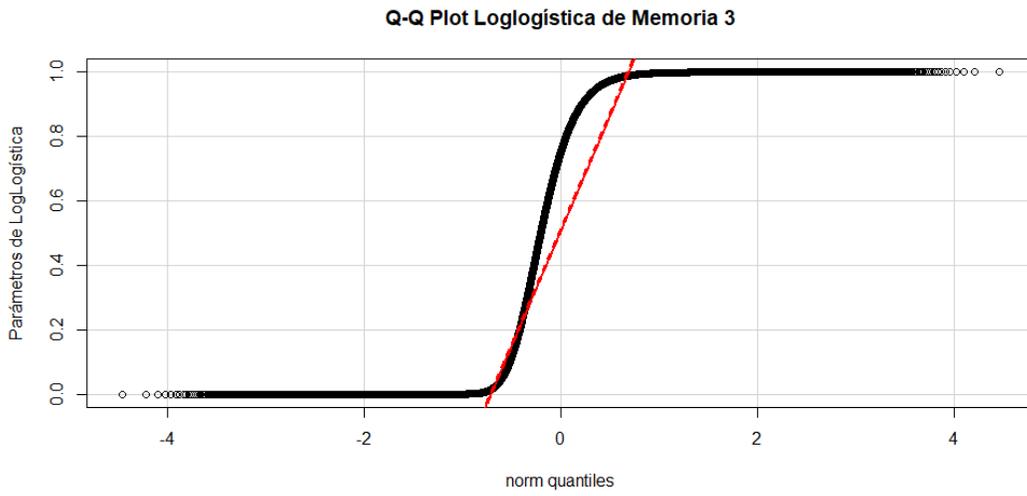


Figura 51 Q-Q-Plot Lognormal Memoria 3



*Figura 52 QQ-Plot Logística Memoria 3*



*Figura 53 QQ-Plot Loglogística Memoria 3*

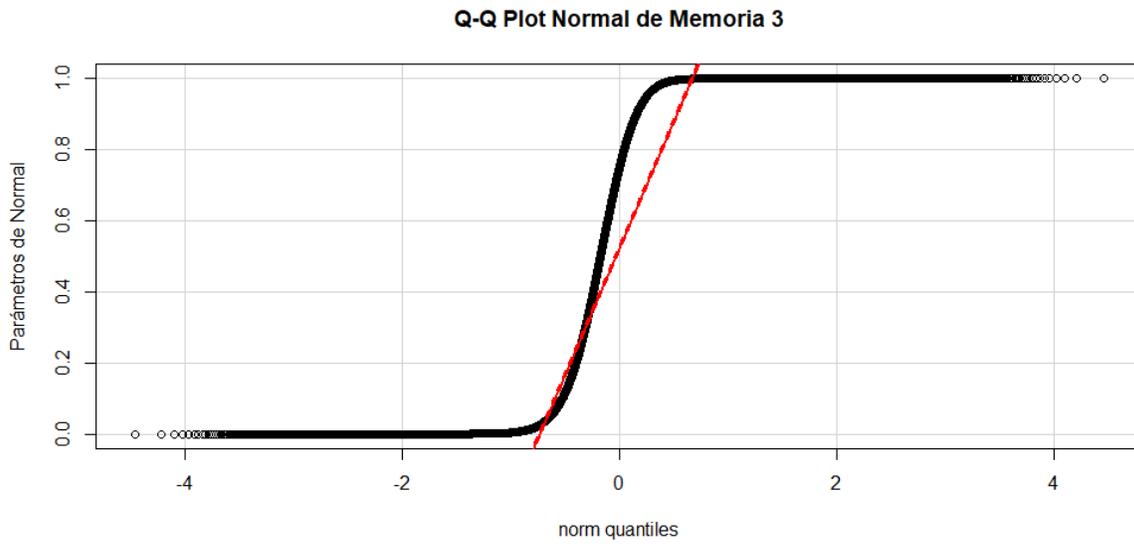


Figura 54 QQ-Plot Normal Memoria 3

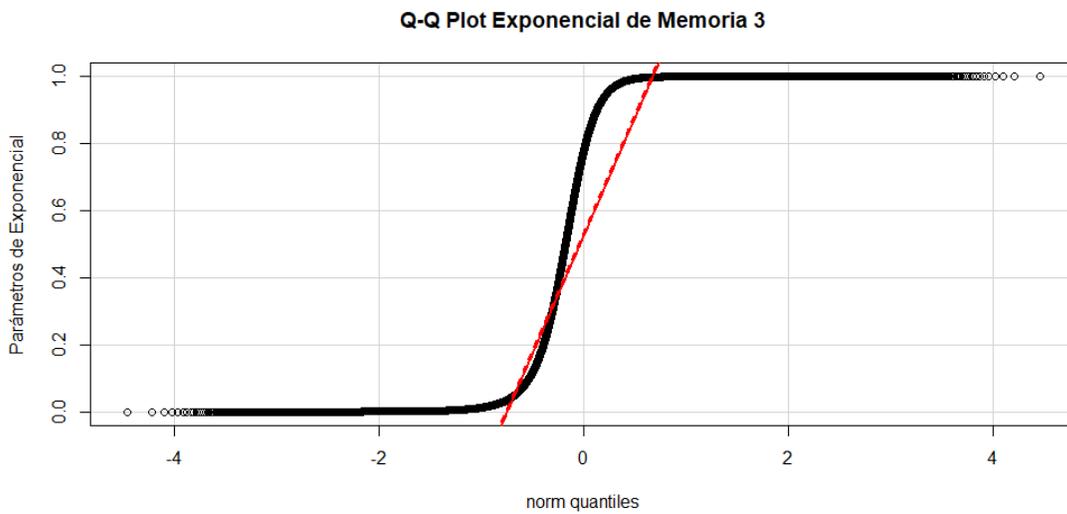
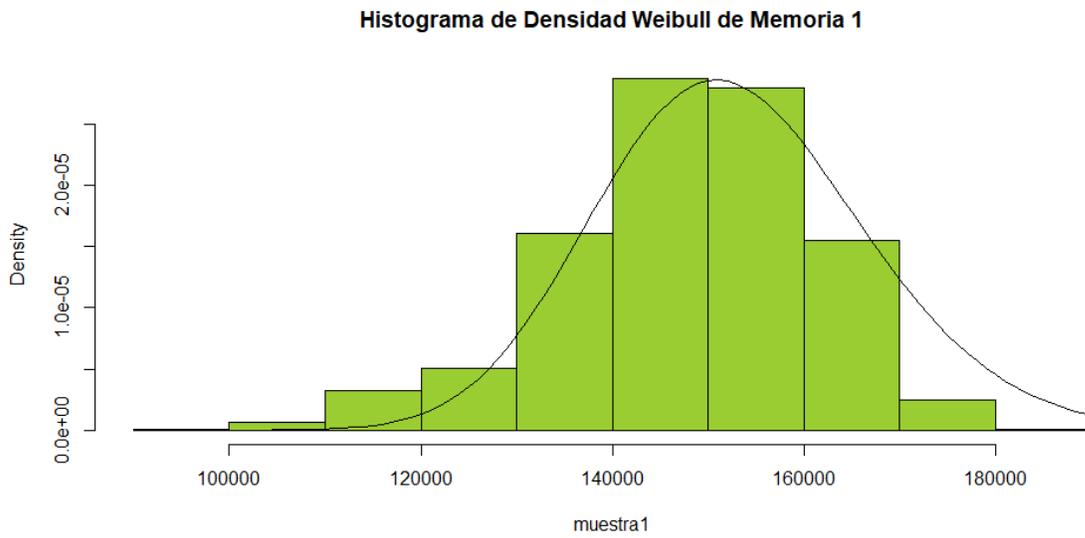


Figura 55 QQ-Plot Exponencial Memoria 3

### MODELO CORRECTO

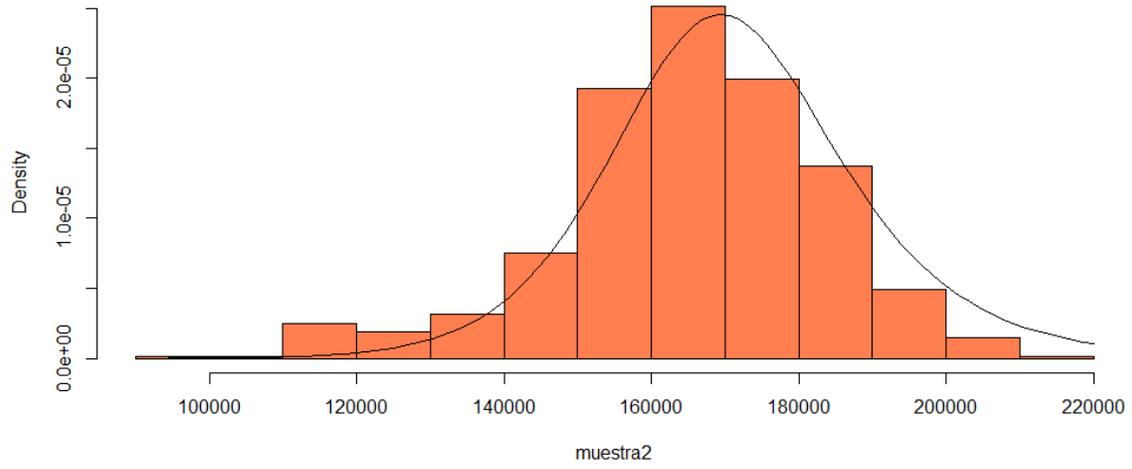
A continuación pongo el modelo que más se ajusta y que se eligió como el favorito para este análisis:

Distribución	Memoria	Parámetro 1	Parámetro 2
<b>Weibull</b>	1	13.14391	158762.3
	2	10.85147	178138.2
	3	15.06343	173735.7
	<b>TOTAL</b>	<b>13.01960333</b>	<b>170212.067</b>



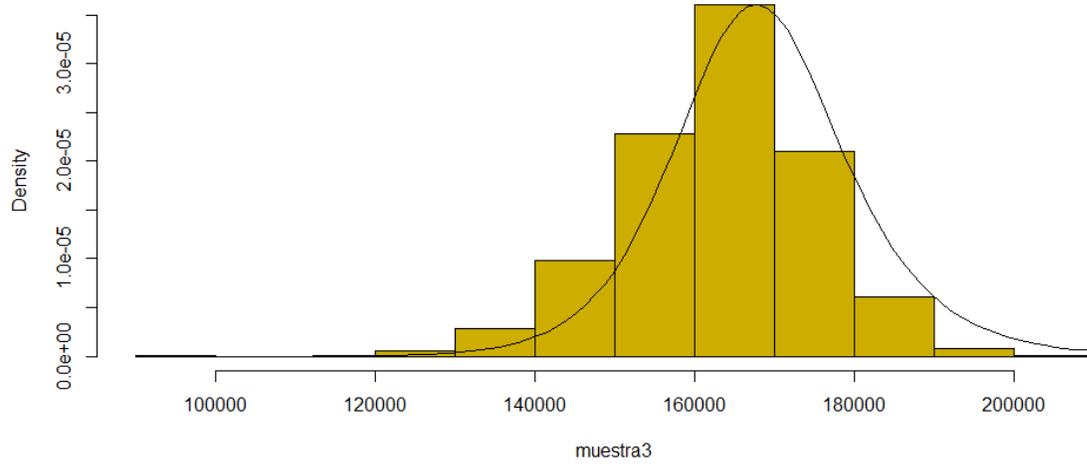
*Figura 56 Densidad Weibull Memoria 1*

**Histograma de Densidad Weibull de Memoria 2**



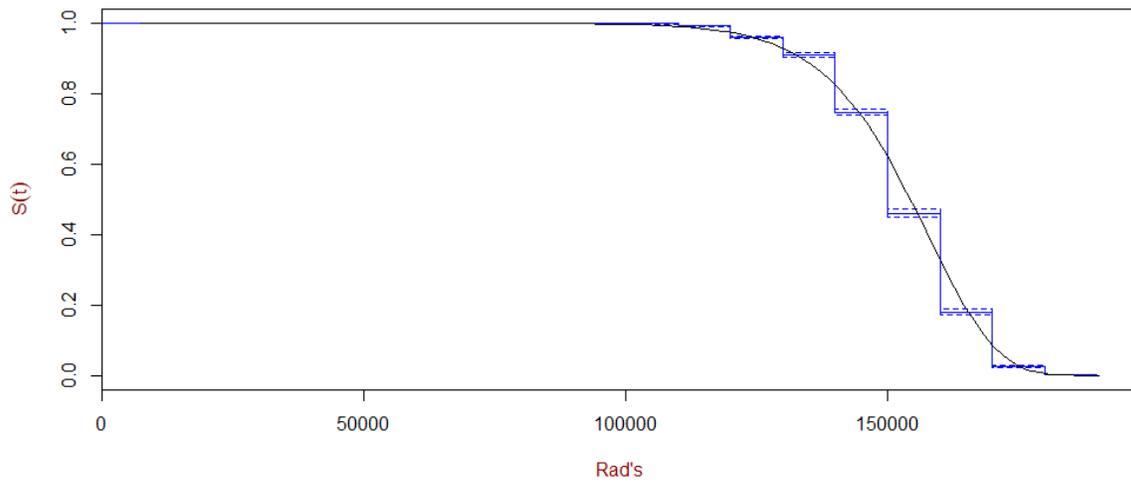
*Figura 57 Densidad Weibull Memoria 2*

**Histograma de Densidad Weibull de Memoria 3**



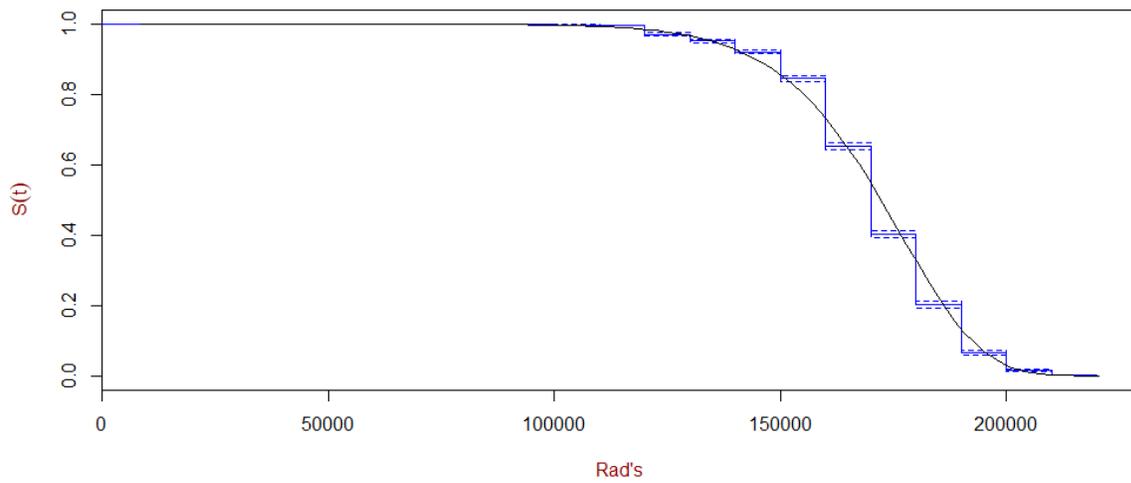
*Figura 58 Densidad Weibull Memoria 3*

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Weibull Memoria 1**



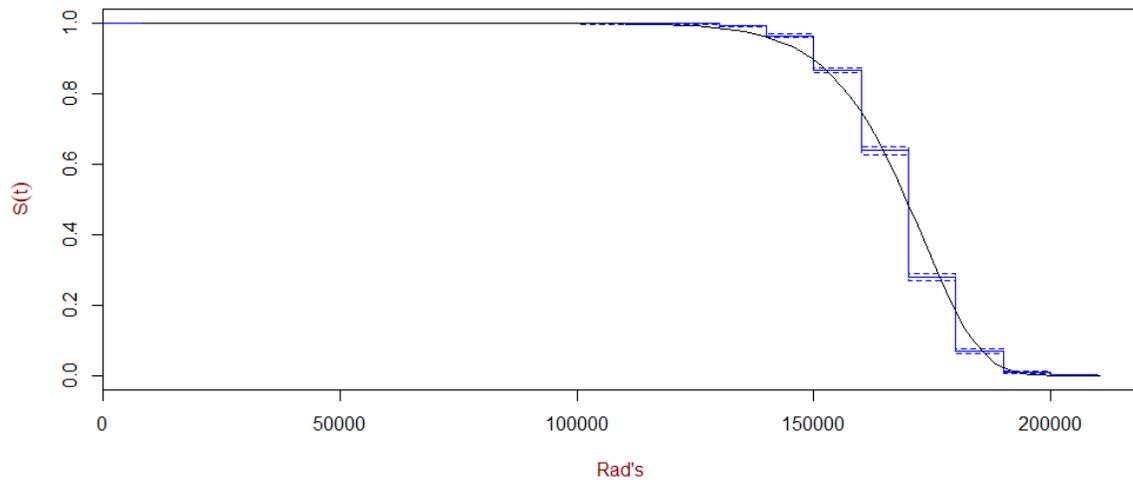
*Figura 59 Ajuste de Curvas K-M Weibull Memoria 1*

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Weibull Memoria 2**



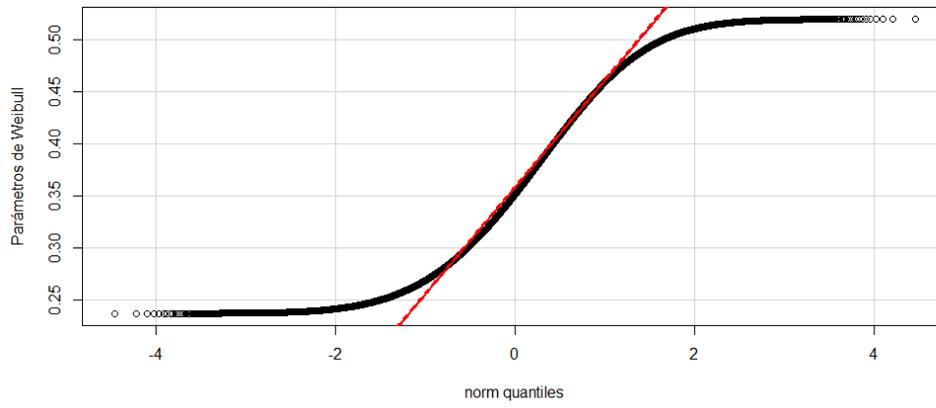
*Figura 60 Ajuste de Curvas K-M Weibull Memoria 2*

**Estimador Kaplan-Meier: Ajuste de Curvas Weibull Memoria 3**

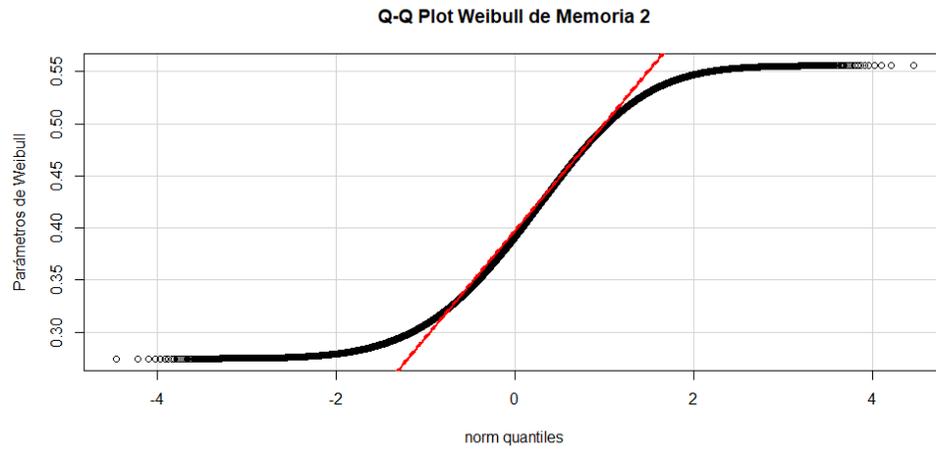


*Figura 61 Ajuste de Curvas K-M Weibull Memoria 3*

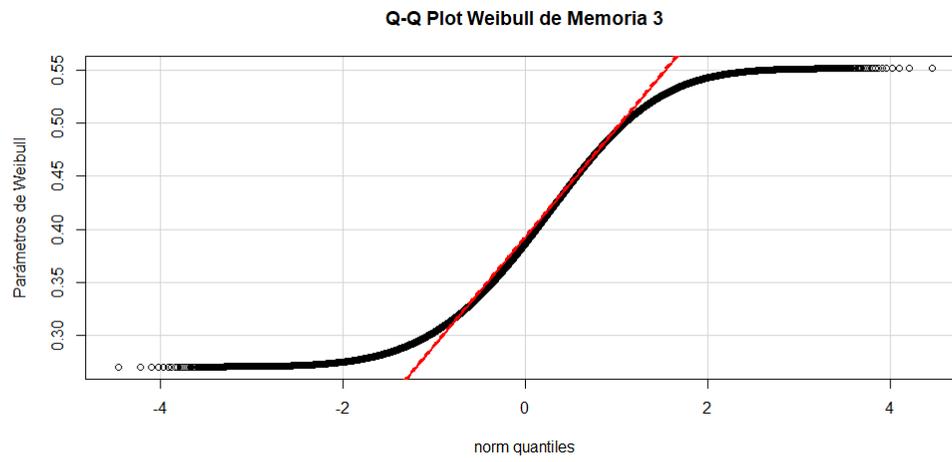
**Q-Q Plot Weibull de Memoria 1**



*Figura 62 QQ-Plot Weibull Memoria 1*



*Figura 63 QQ-Plot Weibull Memoria 2*



*Figura 64 QQ-Plot Weibull Memoria 3*

AIC de la distribución Weibull.

**Weibull**

Memoria 1	Memoria 2	Memoria 3
Log-likelihood: -89423.74	Log-likelihood: -91832.86	Log-likelihood: -88881.42
AIC: 178851.5	AIC: 183669.7	AIC: 177666.8

PROBABILIDAD DE FALLA, PARA DIFERENTES ALTITUDES DESPUÉS DE 1 AÑO EN ÓRBITA EN CONDICIONES MÍNIMAS SOLARES.

ALTITUD (KM)	TID ESPERADA (Krad/s)	PROBABILIDAD DE QUE SOBREVIVA (%)
165	4	100
400	51	100
500	106	99.9
600	189	0.00854
1000	1121	0
2000	221000	0

**Conclusiones:**

Después de hacer el análisis completo de Supervivencia, aunado a la comparación del AIC, junto con los QQ-Plots, podemos concluir, que el mejor modelo que se adecúa a las Memorias NOR-FLASH es la distribución Weibull.

Con lo anterior, podemos decir:

- Se asegura por lo menos 1 año, para las órbitas LEO dado que se encuentran en los Kms 165 y 400 respectivamente, y un 99.9% de confiabilidad para los 500 Kms.

## **Bibliografía:**

European Space Component Coordination, Total Dose Steady-State Irradiation Test Method.

Abraira V. Análisis del tiempo hasta un evento (supervivencia). *Semergen* 2004; 30: 223-225.

Arribalzaga EB, Borracci RA, Giuliano RJ, Jacovella PF. El artículo científico. Del papiro al formato electrónico. Buenos Aires, Magíster Eos, 2005.

Kaplan EL, Meier P. Non parametric estimation from incomplete observations. *J Am Stat Assoc* 1958; 53: 457-481.

Ormsby CE. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier. *Medicina Universitaria* 2005; 7: 179-181.

Pita Fernández S. Análisis de supervivencia. *Cad Aten Primaria* 1995; 2: 130-135.

Rebasa P. Conceptos básicos del análisis de supervivencia. *Cir Esp* 2005;78: 222-230.