

Confiabilidad de Redes – Breve Resumen

Ideas, Conceptos y Definiciones

Leslie Murray

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina

Junio, 2024

Esta es una breve y muy resumida guía en la que podrán encontrar (sin fórmulas ni desarrollos matemáticos) las ideas y conceptos fundamentales en los que están basados los temas del curso.

Cada transparencia tiene por título el de la unidad correspondiente al tema abordado.

Conocer y entender todos los ítems presentados en esta guía implica haber alcanzado los objetivos del curso.

NUESTRO MODELO DE RED ES UN GRAFO: NODOS INTERCONECTADOS POR MEDIO DE ENLACES.

LOS NODOS NUNCA FALLAN.

LOS ENLACES PUEDEN ENCONTRARSE EN UNO DE DOS ESTADOS POSIBLES,

- sanos: conexión perfecta entre los nodos de los extremos,
- fallados: borrados del grafo.

QUE HAYA CONEXIÓN ENTRE DOS NODOS SIGNIFICA QUE EXISTE UN "CAMINO" DE NODOS SANOS QUE PERMITE IR DESDE UNO HASTA EL OTRO.

EN EL GRAFO HAY UN CONJUNTO DE NODOS LLAMADOS "TERMINALES".

NOS INTERESA QUE TODOS LOS NODOS "TERMINALES" ESTÉN CONECTADOS ENTRE SÍ.

EL NÚMERO DE NODOS TERMINALES ES VARIABLE:

- todos,
- algunos,
- dos.

LLAMAMOS ESTADO O CONFIGURACIÓN DE LA RED A UNA INSTANCIA EN LA QUE CADA UNO DE LOS ENLACES ESTÁ EN UNO DE SUS DOS ESTADOS POSIBLES.

PARA CADA UNA DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LA RED, LOS NODOS TERMINALES PUEDEN O NO ESTAR CONECTADOS ENTRE SÍ.

A PARTIR DE LA PROBABILIDAD QUE TIENE CADA ENLACE DE ESTAR FALLADO, RESULTA UNA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE CADA CONFIGURACIÓN.

A SU VEZ, CADA CONFIGURACIÓN GARANTIZA O NO LA CONEXIÓN ENTRE LOS NODOS TERMINALES.

LUEGO, EXISTE UNA PROBABILIDAD DE QUE HAYA CONEXIÓN ENTRE LOS NODOS TERMINALES.

LA CONFIABILIDAD ES LA PROBABILIDAD DE QUE HAYA CONEXIÓN ENTRE LOS NODOS TERMINALES.

PARA EVALUAR ESA PROBABILIDAD HACE FALTA CONSIDERAR "TODAS" LAS CONFIGURACIONES POSIBLES. SI LA RED ES GRANDE, ESTE TRABAJO TOMA UN TIEMPO DESMESURADAMENTE GRANDE.

UNA FORMA DE EVITAR ESTE INCONVENIENTE CONSISTE EN RESIGNAR EL CÁLCULO EXACTO Y ESTIMAR LA CONFIABILIDAD MEDIANTE SIMULACIÓN.

EL ESTADO DE LOS ENLACES SE MODELA MEDIANTE VARIABLES ALEATORIAS QUE SÓLO PUEDEN VALER 1 ó 0.

- 1 indica enlace sano,
- 0 indica enlace fallado.

LA FUNCIÓN DE ESTRUCTURA INDICA, PARA CADA CONFIGURACIÓN DE LA RED, SI HAY CONEXIÓN O NO ENTRE LOS NODOS TERMINALES,

- si vale 1, significa que hay conexión entre los nodos terminales,
- si vale 0, significa que no hay conexión entre los nodos terminales.

LA CONFIABILIDAD ES “LA PROBABILIDAD DE QUE LA FUNCIÓN DE ESTRUCTURA” VALGA 1.

LA CONFIABILIDAD ES “LA ESPERANZA DE LA FUNCIÓN DE ESTRUCTURA”.

Las dos afirmaciones anteriores son idénticas (dicen lo mismo).

LA FORMA MÁS DIRECTA DE CALCULAR EN FORMA EXACTA LA CONFIABILIDAD ES LA SIGUIENTE:

- Identificar todas las configuraciones que garantizan conectividad entre nodos terminales.
- Calcular la probabilidad de ocurrencia de cada una de esas configuraciones.
- Sumar todas esas probabilidades.

TODOS LOS MÉTODOS DISEÑADOS PARA ESTIMAR MEDIANTE SIMULACIÓN LA CONFIABILIDAD DE UNA RED NECESITAN GENERAR CONFIGURACIONES EN FORMA ALEATORIA.

LA BASE PARA GENERAR CONFIGURACIONES EN FORMA ALEATORIA SON LAS SECUENCIAS DE NÚMEROS ALEATORIOS.

**LAS COMPUTADORAS NO PUEDEN GENERAR NÚMEROS ALEATORIOS
MEDIANTE ALGORITMOS.**

LAS COMPUTADORAS PUEDEN GENERAR SECUENCIAS DE NÚMEROS PSEUDO-ALEATORIOS QUE SON, EN REALIDAD, SECUENCIAS PERIÓDICAS (DE PERIODICIDADES MUY GRANDES) QUE "SE PARECEN MUCHO" A LAS SECUENCIAS DE NÚMEROS ALEATORIOS.

TRABAJAR CON SECUENCIAS DE NÚMEROS PSEUDO-ALEATORIOS TIENE LA GRAN VENTAJA DE QUE UNA DETERMINADA SECUENCIA SE PUEDE EJECUTAR TANTAS VECES COMO SE DESEE.

LOS ALGORITMOS BÁSICOS GENERAN NÚMEROS PSEUDO-ALEATORIOS
UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDOS ENTRE 0 Y 1.

UNO DE LOS MÁS USADOS Y ES EL GENERADOR CONGRUENCIAL LINEAL.

HAY UNA ENORME VARIEDAD DE ALGORITMOS QUE, A PARTIR DE UNA SECUENCIA DE NÚMEROS PSEUDO-ALEATORIOS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDOS ENTRE 0 Y 1 GENERAN SECUENCIAS DE NÚMEROS PSEUDO-ALEATORIOS AJUSTADOS A DISTINTAS DISTRIBUCIONES (TANTO DISCRETAS COMO CONTINUAS).

LA SIMULACIÓN BÁSICA Y MÁS ELEMENTAL POSIBLE PARA ESTIMAR LA CONFIABILIDAD DE UNA RED SE IMPLEMENTA GENERANDO CONFIGURACIONES EN FORMA ALEATORIA Y DETERMINANDO LA PROPORCIÓN (PESADA POR MEDIO LAS CORRESPONDIENTES PROBABILIDADES) EN LAS QUE LOS NODOS TERMINALES TIENEN CONEXIÓN ENTRE SÍ.

ESTA SIMULACIÓN CONSISTE, EN DEFINITIVA, EN GENERAR VALORES (EN FORMA ALEATORIA Y ACORDE A LAS DISTRIBUCIONES CORRESPONDIENTES) DE LA FUNCIÓN DE ESTRUCTURA Y VIENDO CUÁL ES LA PROPORCIÓN DE ESOS VALORES QUE RESULTAN IGUALES A 1.

ESTO ES NI MÁS NI MENOS QUE APROXIMAR EL VALOR DE LA PROBABILIDAD DE UN EVENTO POR LA FRECUENCIA RELATIVA DE UN NÚMERO DE EXPERIMENTOS, EN CADA UNO DE LOS CUALES SE SIMULA UNA INSTANCIA DEL SISTEMA Y SE VE SI EL EVENTO OCURRE O NO.

EL EVENTO REFERIDO ES QUE HAYA CONEXIÓN ENTRE LOS NODOS TERMINALES (0, LO QUE ES LO MISMO, QUE LA FUNCIÓN DE ESTRUCTURA VALGA 1).

EL RESULTADO DE UNA SIMULACIÓN DE ESTE TIPO (en definitiva una estimación de la confiabilidad de la red) **ES, EN SÍ MISMO, UNA VARIABLE ALEATORIA, CON MEDIA, VARIANZA, ETC.**

LA MEDIA DE ESTA VARIABLE ALEATORIA ES LA CONFIABILIDAD DE LA RED.

EN GENERAL LA VARIANZA DE ESTA VARIABLE ALEATORIA ES DIFÍCIL O MUY DIFÍCIL CALCULAR, PERO SE PUEDE APROXIMAR POR MEDIO DE UN ESTIMADOR.

ESTA VARIANZA TIENE UN ESTRECHO VÍNCULO CON CIERTO TIPO DE ERROR QUE EXPRESA LA DIFERENCIA ENTRE EL VALOR ESTIMADO Y EL VALOR EXACTO DE LA CONFIABILIDAD.

EL ERROR ASÍ DEFINIDO (que reconoceremos como Error Relativo) **ES, SIMPLEMENTE, EL COCIENTE ENTRE LA RAÍZ CUADRADA DE LA VARIANZA DEL ESTIMADOR Y EL NÚMERO DE PRUEBAS DE MONTE CARLO USADAS PARA LA ESTIMACIÓN.**

EL ERROR DE LA ESTIMACIÓN ESTÁNDAR ESTÁ DETERMINADO POR LA VARIANZA DEL ESTIMADOR.

EN LOS MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE VARIANZA SE TRATA DE ENCONTRAR "OTRA" VARIABLE ALEATORIA CON LA MISMA MEDIA PERO MENOR VARIANZA QUE LA ORIGINAL.

EN EL MÉTODO DE VARIABLES ANTITÉTICAS SE MODIFICA EL MÉTODO DE MUESTREO PARA CONSEGUIR CORRELACIÓN NEGATIVA ENTRE MUESTRAS. LA ESTIMACIÓN REALIZADA A PARTIR DE MUESTRAS NEGATIVAMENTE CORRELACIONADAS, TIENE MENOR VARIANZA QUE LA ESTÁNDAR.

EN EL MÉTODO DE MUESTREO DE IMPORTANCIA SE MODIFICA LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA VARIABLE CUYA MEDIA SE QUIERE ESTIMAR, PROCURANDO ENCONTRAR UNA DISTRIBUCIÓN QUE DE LUGAR A UN ESTIMADOR CON MENOR VARIANZA. AL FINAL —LÓGICAMENTE— ES NECESARIO CORREGIR EL RESULTADO.

EN EL MÉTODO DE MONTE CARLO CONDICIONAL SE CONDICIONA LA V.A. CUYA MEDIA ES DE INTERÉS A OTRA V.A. DEL MODELO. SORTEANDO ADECUADAMENTE, EL ESTIMADOR DE LA VARIABLE CONDICIONADA TIENE IGUAL MEDIA Y MENOR VARIANZA QUE EL DE LA VARIABLE ORIGINAL.

PARA REDES EN LAS QUE TODOS LOS ENLACES "SON IGUALES"^(*), LA CONFIABILIDAD, SE PUEDE EXPRESAR POR MEDIO DE UN POLINOMIO CON TANTOS TÉRMINOS COMO ENLACES TENGA LA RED.

() Por enlaces iguales, se entiende enlaces cuyos estados siguen la misma distribución de probabilidad.*

CADA TÉRMINO DEL POLINOMIO CORRESPONDE A LA MASA DE PROBABILIDAD DEL TOTAL DE CONFIGURACIONES QUE GARANTIZAN CONEXIÓN ENTRE NODOS TERMINALES, CON UN NÚMERO FIJO DE ENLACES SANOS.

ASÍ, POR EJEMPLO, EL PRIMER TÉRMINO ES LA MASA DE PROBABILIDAD DEL CONJUNTO DE CONFIGURACIONES CON UN ENLACE SANO QUE GARANTIZAN CONEXIÓN ENTRE NODOS TERMINALES, EL SEGUNDO ES LA MASA DE PROBABILIDAD DEL CONJUNTO DE CONFIGURACIONES CON DOS ENLACES SANOS QUE GARANTIZAN CONEXIÓN ENTRE NODOS TERMINALES, Y ASÍ SUCESIVAMENTE.

CADA TÉRMINO ESTÁ FORMADO POR EL PRODUCTO ENTRE EL NÚMERO DE CONFIGURACIONES CON EL NÚMERO CORRESPONDIENTE DE ENLACES SANOS QUE GARANTIZAN CONEXIÓN ENTRE NODOS TERMINALES Y LA PROBABILIDAD DE CADA UNA DE ELLAS.

LOS VALORES DE PROBABILIDAD DE CADA TÉRMINO SON SIMPLES DE CALCULAR, PERO LAS CANTIDADES (PROPORCIONES) DE CONFIGURACIONES CORRESPONDIENTES SON MUY DIFÍCILES DE CALCULAR.

EL MÉTODO CONSISTE EN ESTIMAR, UNA A UNA, ESAS CANTIDADES.

LA DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL (D.E.) ES UNA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD QUE GENERA NÚMEROS REALES, POSITIVOS.

LOS NÚMEROS ALEATORIOS AJUSTADOS A UNA D.E. SON PARTICULARMENTE APTOS PARA MODELAR EL TIEMPO TRANSCURRIDO ENTRE EL “INSTANTE CERO”* Y LA OCURRENCIA DE UN EVENTO QUE PUEDA OCURRIR “EN CUALQUIER MOMENTO”.

* Se entiende por instante cero al de inicio o puesta en marcha del sistema modelado.

SE DICE QUE UN EVENTO PUEDE OCURRIR “EN CUALQUIER MOMENTO” CUANDO, HABIENDO TANSCURRIDO UN TIEMPO SIN QUE OCURRA, LAS CONDICIONES NO CAMBIAN SIGNIFICATIVAMENTE RESULTANDO, POR LO TANTO, TAN PROBABLE QUE OCURRA EN EL INSTANTE PRESENTE COMO EN CUALQUIER INSTANTE FUTURO. Y ESTO VALE PARA CUALQUIER INSTANTE DE OBSERVACIÓN.

ESTAS PROPIEDADES DE LA D.E. ESTÁN ASOCIADAS A LA FALTA DE MEMORIA LA CUAL PUEDE EXPRESARSE COMO: "SI LUEGO DE TIEMPO CIERTO TIEMPO, EL EVENTO NO HA OCURRIDO, ES TAN PROBABLE QUE OCURRA EN LOS PRÓXIMOS INSTANTES COMO LO ERA EN EL COMIENZO".

LA FALTA DE MEMORIA TAMBIÉN PUEDE EXPRESARSE COMO:

“LAS PROBABILIDADES QUE TIENE UN EVENTO DE OCURRIR A PARTIR DE UN INSTANTE $t > 0$ EN EL QUE EL TODAVÍA NO HA OCURRIDO, SON EXACTAMENTE IGUALES A LAS QUE TENÍA DE OCURRIR A PARTIR DEL INSTANTE $t = 0$.”

EL MÍNIMO DE UN CONJUNTO DE VARIABLES ALEATORIAS CON D.E. ES OTRA VARIABLE ALEATORIA CON D.E. CUYA TASA ES LA SUMA DE LAS TASAS DE TODAS LAS VARIABLES DEL CONJUNTO.

ES POSIBLE IDENTIFICAR LA VARIABLE QUE OCUPA EL LUGAR DEL MÍNIMO DE UN CONJUNTO DE VARIABLES ALEATORIAS CON D.E., A TRAVÉS DE UNA DISTRIBUCIÓN DISCRETA EN LA QUE CADA VARIABLE TIENE UNA PROBABILIDAD IGUAL AL COCIENTE ENTRE SU PROPIA TASA Y LA SUMA DE LAS TASAS DE TODAS LAS VARIABLES EL CONJUNTO.

EN EL PROCESO DE CREACIÓN (P.C.) LOS ENLACES ARRANCAN "FALLADOS" Y "SE REPARAN" EN INSTANTES ALEATORIOS AJUSTADOS A UNA D.E.

EN UNA DE LAS REPARACIONES SE ESTABLECE UN CAMINO DE CONEXIÓN ENTRE LOS NODO TERMINALES, PODRÍAMOS DECIR QUE EN ESE INSTANTE “SE REPARA LA RED”.

ELIGIENDO ADECUADAMENTE LAS TASAS DE LAS D.E. DE CADA ENLACE, LA PROBABILIDAD DE ENCONTRARLOS FALLADOS EN $t = 1$ ES EXACTAMENTE LA PROBABILIDAD DE ENCONTRARLOS FALLADOS EN EL MODELO ESTÁTICO.

LUEGO, LA PROBABILIDAD DE ENCONTRAR FALLADA A LA RED EN $t = 1$ ES EXACTAMENTE IGUAL A SU ANTICONFIABILIDAD.

LA SUCESIÓN DE INSTANTES DE REPARACIÓN PUEDE VERSE COMO UNA TRAYECTORIA DENTRO DEL ESPACIO TEMPORAL DE UNA DIMENSIÓN. ESA TRAYECTORIA "AVANZA" HASTA QUE UNO DE LOS INSTANTES DE REPARACIÓN ES EL QUE REPARA LA RED. SI ESTE ÚLTIMO INSTANTE ES ANTERIOR A $t=1$ LA TRAYECTORIA ES EQUIVALENTE A UNA REPLICACIÓN FALLIDA EN EL MODELO ESTÁTICO. EN CASO CONTRARIO ES UNA REPLICACIÓN EXITOSA*.

(*) *Fallida significa que aporta un cero a la estimación Monte Carlo crudo, exitosa, que aporta un uno.*

LOS MÉTODOS BASADOS EN EL P.C. (PARA ESTIMAR LA ANTICONFIABILIDAD) SE CONCENTRAN EN ESTIMAR LA PROBABILIDAD DE QUE EL INSTANTE DE “REPARACIÓN DE LA RED” ESTÉ MÁS ALLÁ DE $t = 1$.

TODO LO DICHO CORRESPONDE AL P.C.

A TRAVÉS DE UN ANÁLISIS SIMILAR (CAMBIANDO LAS TASAS DE LAS EXPONENCIALES Y LOS CRITERIOS DE OPERATIVIDAD) SE PUEDE EXPLICAR EL PROCESO DE DESTRUCCIÓN (P.D.).

BASADO EN EL P.C. ES MUY SIMPLE HACER UNA ESTIMACIÓN DE ANTICONFIABILIDAD POR MC CRUDO. PARA ELLO:

- 1 HAY QUE SORTEAR TRAYECTORIAS HASTA LLEGAR A LA REPARACIÓN DEL ENLACE CON LA QUE SE "REPARA LA RED",
 - SI ESA REPARACIÓN ES ANTERIOR A UNO, ACUMULAR CERO,
 - SI ES POSTERIOR A UNO, ACUMULAR UNO.
- 2 DIVIDIR LOS VALORES ACUMULADOS POR EL NÚMERO DE TRAYECTORIAS SORTEADAS.

LA ESTIMACIÓN DE MONTE CARLO CRUDO SE PUEDE MEJORAR, CONVIRTIÉNDOSE EN MCP. PARA ELLO:

- 1 SORTEAR TRAYECTORIAS HASTA LLEGAR A LA REPARACIÓN DEL ENLACE CON LA QUE SE "REPARA LA RED",
 - CALCULAR LA PROBABILIDAD DE QUE ESA REPARACIÓN SEA POSTERIOR A UNO Y ACUMULAR ESE VALOR.
- 2 DIVIDIR LOS VALORES ACUMULADOS POR EL NÚMERO DE TRAYECTORIAS SORTEADAS.

SPLITTING ES UNA TÉCNICA DE REDUCCIÓN DE VARIANZA, MUY EFICIENTE SOBRE MODELOS DE MARKOV QUE:

- TIENDEN FUERTEMENTE A ENTRAR EN UN DETERMINADO SECTOR DEL ESPACIO DE ESTADO, LO QUE ADEMÁS DECRETA EL FINAL DE LA EVOLUCIÓN DE LA TRAYECTORIA,
- ENTRAN “MUY RARAMENTE” EN CIERTO SECTOR DEL ESPACIO DE ESTADO (EL EVENTO DE INTERÉS).

SPLITTING PERMITE CALCULAR DE MANERA MUY EFICIENTE LA PROBABILIDAD DE QUE UNA TRAYECTORIA ENTRE AL SECTOR DEL ESPACIO DE ESTADO AL QUE LLEGA “MUY RARAMENTE”, SIN HABER LLEGADO ANTES A (O PASADO POR) ESE OTRO SECTOR AL QUE LLEGA CON MUY ALTA PROBABILIDAD.

PARA HACER LA ESTIMACIÓN BASADA EN SPLITTING, SE ESTABLECE UNA SERIE DE LÍMITES O "CAPAS" ALREDEDOR DEL SECTOR DEL ESPACIO DE ESTADO QUE SE ALCANZA MUY RARAMENTE Y, TODA VEZ QUE ALGUNA DE ESAS "CAPAS" ES ATRAVESADA POR UNA TRAYECTORIA, LA MISMA SE CLONA (SE CONVIERTE EN MÁS DE UNA) A PARTIR DEL PUNTO DE CRUCE.

LAS TRAYECTORIAS RESULTANTES DEL CLONADO CONSERVAN EL ESTADO DE LA TRAYECTORIA INCIDENTE EN EL PUNTO DE CRUCE.

TANTO EL ESPACIO DE ESTADOS COMO LAS TRAYECTORIAS SOBRE EL MISMO SE TRANSFORMAN, A TRAVÉS DE UNA *FUNCIÓN DE IMPORTANCIA*, HACIENDO, GENERALMENTE, QUE LA EVOLUCIÓN DE SISTEMA SE REDUZCA A UNA DIMENSIÓN Y QUE LOS LÍMITES O “CAPAS” TOMEN LA FORMA DE UN VALOR NUMÉRICO (UMBRAL).

EN EL ESPACIO TRANSFORMADO, EL EVENTO DE INTERÉS ES EL CRUCE DEL “MÁS ALTO” DE LOS UMBRALES MIENTRAS QUE EL EVENTO QUE DECRETA EL FINAL O LA MUERTE DE UNA TRAYECTORIA ES, GENERALMENTE, LA CAÍDA POR DEBAJO DE UN UMBRAL PARTICULAR (HABITUALMENTE EL DE VALOR CERO).

EL PROBLEMA DE QUE UNA TRAYECTORIA ALCANCE UN DETERMINADO UMBRAL, HABIÉNDOSE INICIADO EN EL ANTERIOR, ES UNA SUERTE DE VERSIÓN “MENOS EXIGENTE” DEL PROBLEMA GENERAL.

LA PROBABILIDAD DE QUE UNA TRAYECTORIA ALCANCE UN DETERMINADO UMBRAL, HABIÉNDOSE INICIADO EN EL ANTERIOR —LLAMÉMOSLE PROBABILIDAD POR ETAPA— ES SIMPLE DE CALCULAR POR MONTE CARLO CRUDO: COCIENTE ENTRE EL NÚMERO DE TRAYECTORIAS QUE ALCANZARON EL UMBRAL EN CUESTIÓN, DIVIDIDO EL NÚMERO DE TRAYECTORIAS INICIADAS DESDE EL UMBRAL ANTERIOR.

LA PROBABILIDAD DE QUE SOBRE UNA TRAYECTORIA OCURRA EL EVENTO DE INTERÉS (QUE ALCANCE EL UMBRAL MÁS ALTO) ANTES DE QUE OCURRA SU “MUERTE” (QUE CAIGA POR DEBAJO DEL UMBRAL DE CERO) SE PUEDE CALCULAR COMO EL PRODUCTO ENTRE TODAS LAS PROBABILIDADES POR ETAPA.

HAY UN HECHO SIMPLE DE IMPLEMENTAR, AUNQUE MUY DIFÍCIL PROBAR: EN EL CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD DEL EVENTO DE INTERÉS, ES POSIBLE REEMPLAZAR LOS VALORES DE LAS PROBABILIDADES POR ETAPA, POR ESTIMACIONES.

LUEGO, LA PROBABILIDAD DE QUE SOBRE UNA TRAYECTORIA OCURRA EL EVENTO DE INTERÉS (QUE ALCANCE EL UMBRAL MÁS ALTO) ANTES DE QUE OCURRA SU "MUERTE" SE PUEDE ESTIMAR COMO EL PRODUCTO ENTRE LOS ESTIMADORES DE TODAS LAS PROBABILIDADES POR ETAPA.

ES POSIBLE ESTIMAR LA ANTICONFIABILIDAD DE UNA RED APLICANDO SPLITTING A LAS TRAYECTORIAS DEL PROCESO DE CREACIÓN (P.C.). PARA ELLO:

- EL EVENTO DE INTERÉS ES “QUE EL INSTANTE DE REPARACIÓN DE LA RED OCURRA MÁS ALLÁ DE $t=1$ ”,
- LOS UMBRALES SE ESTABLECEN COMO VALORES ENTRE $t=0$ Y $t=1$,
- LA MUERTE DE UNA TRAYECTORIA OCURRE SI LA RED SE REPARA ANTES DE $t=1$.

LA CLONACIÓN DE TRAYECTORIAS AL CRUZAR UMBRALES SE RESUELVE APELANDO A LA FALTA DE MEMORIA DE LA D.E. QUE COMANDA CADA UNO DE LOS INSTANTES DE REPARACIÓN DE ENLACES.

PARA ESTO, TODA VEZ QUE SE ESTÉN SORTEANDO TIEMPOS DE REPARACIÓN DENTRO DE UNA ETAPA (ENTRE UMBRALES), Y UNO DE LOS TIEMPOS SE SORTEE MÁS ALLÁ DEL UMBRAL SUPERIOR DE LA ETAPA, LOS INSTANTES SIGUIENTES DE LAS TRAYECTORIAS RESULTANTES NO SE SORTEARÁN A PARTIR DE LA ÚLTIMA REPARACIÓN, SINO DEL UMBRAL QUE SE ACABA DE CRUZAR.

EN EL MODELO ESTÁTICO DE REDES BASTA CON QUE UN ENLACE HAGA CONTACTO, O NO, ENTRE LOS NODOS DE SUS EXTREMOS (DOS POSIBILIDADES).

EN UNA RED ESTOCÁSTICA DE FLUJO ESE CONTACTO ES CUANTIFICADO POR UN VALOR (DISCRETO O CONTINUO) LLAMADO CAPACIDAD, QUE ES AL MÁXIMO VALOR DE FLUJO QUE PUEDE PASAR A TRAVÉS DE UN ARCO.

Tan solo para establecer una diferencia, hablamos de “enlaces” en el Modelo Estático de Red y de “arco” en la Red Estocástica de Flujo.

EN LA RED HAY NODOS QUE *GENERAN* FLUJO, OTROS QUE *CONSUMEN* FLUJO Y OTROS QUE SÓLO LE *DAN PASO* AL FLUJO.

DADO UN VALOR DE CAPACIDAD POR ARCO, HAY UN MÁXIMO VALOR DE FLUJO QUE PUEDE SALIR DESDE LOS NODOS QUE LO *GENERAN* Y LLEGAR HASTA LOS QUE LO *CONSUMEN*. ESTE MÁXIMO SERÍA LA "CAPACIDAD DE LA RED".

SI LA CAPACIDAD DE CADA ARCO ES UN VARIABLE ALEATORIA, LA CAPACIDAD DE LA RED TAMBIÉN LO ES.

LAS REDES ESTOCÁSTICAS DE FLUJO SE DISEÑAN PARA QUE SU CAPACIDAD ESTÉ POR ARRIBA DE DETERMINADA COTA O UMBRAL LLAMADO "DEMANDA".

LA CONFIABILIDAD (ANTICONFIABILIDAD) ES LA PROBABILIDAD DE QUE LA CAPACIDAD DE LA RED ESTÉ POR ARRIBA (POR DEBAJO) DE LA DEMANDA.

LA ESTIMACIÓN ESTÁNDAR DE ANTICONFIABILIDAD CONSISTE EN:

- GENERAR INSTANCIAS ASIGNANDO, EN CADA UNA DE ELLAS, UN VALOR ALEATORIO DE CAPACIDAD A CADA ARCO,
- POR CADA INSTANCIA ACUMULAR UN 1 SI LA CAPACIDAD DE LA RED ESTÁ POR DEBAJO DE LA DEMANDA,
- REPETIR LOS DOS ÍTEMS ANTERIORES “MUCHAS” VECES,
- DIVIDIR EL VALOR ACUMULADO POR EL NÚMERO DE INSTANCIAS GENERADAS.