



Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Industrial

IN44A: Investigación Operativa  
Profs: Pablo Rey, Denis Sauré, Rafael Epstein.  
Aux : C. Berner, A. Neely, D. Yung

Clase Auxiliar 27 de Octubre, 2004  
Cadenas de Markov en Tiempo Continuo

## Problema 1

Considere la complicada situación que vive Armijo Catalán, flamante auxiliar de variados cursos de Ingeniería Industrial. Este personaje recibe consultas de sus alumnos (en forma de e-mails) de acuerdo a un proceso de poisson de tasa  $\lambda$  (e-mails/hora). La capacidad de la cuenta de Armijo es tal que puede almacenar a lo más 3 e-mails (el resto simplemente rebotará). Armijo responde a cada una estas consultas en un tiempo exponencialmente distribuido de media  $\frac{1}{\mu}$  y lo hará mientras hayan consultas sin responder (una a la vez). Cada vez que responde una consulta el e-mail correspondiente es borrado.

Por otro lado la novia de Armijo llama a este a su celular con el objeto de demandar atención inmediata por parte de él. El tiempo entre llamadas es una variable aleatoria distribuida exponencialmente de media  $\frac{1}{\delta}$ . Si la llamada se produce cuando Armijo se encuentra con menos de 3 consultas pendientes por contestar (incluyendo en la que se encuentra trabajando si corresponde) entonces, acudirá inmediatamente al encuentro con su enamorada con la cual pasará un tiempo aleatorio exponencialmente distribuido de media  $\frac{1}{\gamma}$ . Sin embargo si su cuenta de correo está llena acudirá donde su novia apenas termine de contestar el mensaje actual. Cuando la novia de este personaje ha llamado 2 veces sin recibir respuesta entra en un estado de shock (producto de celos injustificados?) y acude instantáneamente en encuentro de Armijo, al cual encuentra y reta durante un tiempo exponencial de media  $\frac{1}{\beta}$ . Tras este altercado la novia ingresa ilícitamente a la cuenta de correo de Armijo y borra todos los e-mails que encuentre. Por último considere que si el auxiliar se encuentra en su oficina y sin mails pendientes se dedica a trabajar en su tesis.

1. Modele el estado de ocupación de Armijo como una cadena de Markov en tiempo continuo.
2. Argumente la existencia de probabilidades estacionarias. Escriba las ecuaciones que permitirían calcularlas.

En lo que sigue suponga conocidas las probabilidades estacionarias de la cadena.

3. ¿Cual es el número promedio de "escenas de celos" que la novia le hace a Armijo en una hora.
4. ¿Que fracción del tiempo, en el largo plazo Armijo dedica a su trabajo de tesis?

## Problema 2

Cierta unidad académica dispone de 2 equipos de proyección *data show* que son utilizados para realizar presentaciones en actividades de docencia. Los equipos difieren en cuanto a la nitidez y potencia de la imagen que proyectan, siendo uno de ellos de alta calidad y otro de baja calidad. Los equipos son administrados por el Encargado de Sistemas.

Los profesores, auxiliares y alumnos solicitan los equipos en el momento que los necesitan para realizar una presentación. El Encargado de Sistemas ha observado que se reciben solicitudes de acuerdo a un proceso Poisson de tasa  $\alpha$  [solicitudes/hora]. Cuando una persona pide un data show se le entrega el mejor equipo

disponible en ese momento. Si no hay equipos disponibles (ambos equipos han sido prestados a otros expositores) la solicitud es rechazada, y la persona que deseaba el data show se va desilusionada a realizar su presentación con medios menos sofisticados.

Una presentación tiene una duración aleatoria, exponencialmente distribuida con media  $\frac{1}{\beta}$  [horas]. Al terminar su presentación el expositor devuelve el data show inmediatamente al Encargado de Sistemas.

Se sabe además que el equipo de baja calidad falla ocasionalmente. El tiempo que permanece en operación hasta fallar es una variable aleatoria exponencialmente distribuida con tasa  $\gamma$  [fallas/hora]. Cuando el equipo falla durante una presentación el expositor llama inmediatamente al Encargado de Sistemas, el cual envía el equipo a reparación. El accidentado expositor continúa después su presentación como mejor pueda. Un equipo nunca falla cuando no está siendo utilizado. La reparación de un data show toma un tiempo exponencialmente distribuido con media  $\frac{1}{\delta}$  [horas]. Una vez reparado el equipo es recibido por el Encargado de Sistemas, quedando disponible para quien lo solicite.

1. Formule un modelo de Markov en tiempo continuo que describa la disponibilidad de equipos data show de alta y baja calidad. Justifique la existencia de una ley de probabilidades estacionarias e indique cómo calcularlas (no es necesario que las calcule).
2. ¿Cuál es el número medio de solicitudes rechazadas por unidad de tiempo en el largo plazo? (responda en términos de las probabilidades estacionarias y los demás parámetros del problema).
3. ¿En el largo plazo, cuál es la tasa de utilización de cada uno de los equipos (fracción de su tiempo que son usados)?
4. Si a un expositor le acaban de prestar el data show de baja calidad, ¿cuál es la probabilidad que alcance a terminar su presentación sin que el equipo falle?

### Problema 3

La oficina de Entrega de Certificados de una prestigiosa Escuela de Ingeniería, ha contratado una muy agraciada secretaria, la cual causa sensación dentro del alumnado masculino. Es por esto que se le ha encargado a ud. el estudio del sistema de atención con el que actualmente se opera.

En la oficina, sólo existe un puesto de espera, además del lugar que ocupa el estudiante que se está atendiendo. Los alumnos que llegan y encuentran, tanto a la secretaria como el lugar de espera ocupados, se retiran indignados.

Los estudiantes llegan a pedir certificados según un proceso de Poisson de tasa  $\lambda$  [alumnos/hora]. Con probabilidad  $p$  un alumno es hombre, y con  $1 - p$ , mujer.

La secretaria demora en la atención, un tiempo aleatorio que sigue una distribución exponencial de media  $\frac{1}{\mu}$  para los hombres y  $\frac{1}{\gamma}$  para las mujeres, con  $\mu \leq \gamma$ .

Además se sabe que las alumnas, víctimas de una irrefrenable envidia, están como máximo en el lugar de espera un tiempo que sigue una distribución exponencial de parámetro  $\beta$ , luego del cual se retiran furiosas, sin haber recibido la atención. Por otro lado si un estudiante hombre está en el puesto de espera, ni tonto ni perezoso, se queda en ese lugar hasta que la afamada secretaria se desocupe y le preste el servicio requerido.

1. (2.0 pts) Modele el estado de ocupación de la Oficina de Certificados como una Cadena de Markov en tiempo continuo.
2. (1.0 pts) Justifique la existencia de probabilidades estacionarias y plantee el sistema de ecuaciones que permitirían calcularlas.
3. Suponiendo conocidas las probabilidades estacionarias y que el sistema lleva operando por “mucho tiempo”, responda las siguientes preguntas:

- a)* (1.0 pts) ¿Cuál es la cantidad de alumnos (en total) que, en una hora, se retiran indignados al encontrar la oficina llena?
- b)* (1.0 pts) Si un hombre llega y logra entrar al sistema, en promedio cuánto tiempo tendrá que esperar hasta ser atendido?
- c)* (1.0 pts) ¿Cuál es la probabilidad de que una mujer se retire indignada del lugar de espera, antes de que termine la atención de la persona que está con la secretaria?