

SIMULATION OF UNDERGRADUATE ADVANCEMENT BEHAVIOR AT A PRIVATE UNIVERSITY USING MARKOV CHAINS

Eduardo Carbajal López, Magister en Estadística
Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, ecarbajal@pucp.pe

Abstract– The objective of this work is to model advancement behavior through undergraduate careers in a Peruvian university using the available database of academic performance information and economic and social information of students. From the modeling carried out, it is sought to be able to use a markov chain to make predictions about the progress of students per cycle considering variables related to performance, in order to be able to make decisions about economic, scholarship and other policies regarding the student body. The scope of this study includes a historical period of analysis of more than 10 years of historical information, and the total of specialties of the university under study.

Keywords. Simulation, Markov Chains, University Education

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.55>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO DE AVANCE EN PREGRADO EN UNA UNIVERSIDAD PRIVADA EMPLEANDO CADENAS DE MARKOV

Eduardo Carbajal López, Magister en Estadística
Pontificia Universidad Católica del Perú, ecarbajal@pucp.pe

Abstract– El objetivo del presente trabajo es modelar el comportamiento de avance a través de las carreras de pregrado en una universidad peruana empleando la base de datos disponible de información académica de rendimiento e información económica y social de los alumnos. Se busca a partir del modelamiento realizado, el poder emplear una cadena de markov para realizar predicciones sobre el avance de los alumnos por ciclo considerando variables relacionadas al desempeño, con el fin de poder tomar decisiones sobre políticas económicas, de becas y otras con respecto al alumnado. El alcance del presente estudio comprende un periodo histórico de análisis de más de 10 años de información histórica, y el total de especialidades de la universidad en estudio.

Palabras clave. Simulación, Cadenas de Markov, Educación Universitaria

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de las políticas universitarias relacionadas con la gestión del bienestar de la población académica, los criterios de selección de candidatos para el otorgamiento de becas y estímulos académicos por rendimientos, desempeño y condición económica del alumnado siempre generar polémica por los sesgos cualitativos y delicadas discusiones éticas en lo que respecta a la ponderación de los criterios. Hay oportunidades de financiamiento para el estudio en pregrado relacionadas estrictamente hacia polos de bajos ingresos que no exigen rendimiento académico inmediato, mientras que hay otras políticas que verifican rigurosamente la evolución del alumnado para el mantenimiento de una beca o beneficio. En dicho sentido surge la necesidad de poder establecer criterios basados en la propia población universitaria que consideren las dimensiones tanto económicas como de rendimiento académico en aras de establecer políticas, o al menos inicialmente premisas de filtros y restricciones para el acceso a diferentes programas. Esta es la disyuntiva de la oficina de bienestar del estudiante de la universidad objeto del presente estudio.

Tomando como base toda la información académica disponible que incluye rendimiento, cursos aprobados, matriculados, desaprobados, información social y económica de todos los alumnos se busca emplear un modelo que permita modelar la evolución del alumnado completo a lo largo de todos los semestres de pregrado, y a partir del comportamiento observado en dicho modelamiento poder establecer algunas premisas básicas compatibles con el establecimiento de bases para la fijación de políticas restrictivas para las becas disponibles de manera que sean localizadas en un conjunto de alumnos que puedan generar una mayor rotación de las mismas y puedan beneficiarse a lo largo del tiempo más estudiantes con dichos beneficios.

En dicho sentido a partir de una discusión de los modelos disponibles se optó por emplear el modelamiento markoviano mediante cadenas de markov con estados absorbentes que reflejan las transiciones de los alumnos entre semestres hasta concluir con el egreso o el retiro del plan de estudios. Esto basado en la evidencia de otros estudios recientes con aplicaciones relevantes de las cadenas markovianas en particular para el modelamiento del comportamiento académico como en Brezavšček, Pejić Bach, Baggia(2017) o en Hlavatýl & Dömeová (2014). La teoría básica al respecto está constituida en muchos textos ampliamente difundidos base de la investigación de operaciones como Hillier (2010)

Bajo esta coyuntura el alcance del desarrollo del presente proyecto constó del análisis de la información, diseño de una cadena de markov absorbente, e interpretación de resultados de una simulación predictiva de las transiciones de alumnos de pregrado en la universidad estudiada.

Se revisó el tratamiento de los datos de entrada, el manejo de las hojas de cálculo que alimentan al modelo de simulación, la descripción del modelo y la presentación de resultados. El principal objetivo fue el despliegue de la metodología de construcción de la matriz explicando detalladamente los criterios para la selección de variables relevantes en la definición de estados de la cadena de markov.

2. ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

Para la elaboración del modelo se emplearon diversas bases de datos disponibles en el sistema de información interno de la universidad. El conjunto de datos inicial analizado lo constituyen los registros del total de alumnos matriculados en la universidad de pregrado y postgrado entre el ciclo 2003-1 hasta el ciclo 2015-1

Cada registro contiene la siguiente información contenida a nivel de columnas como se resume en la Tabla 1.

Tabla 1
Descriptores Base de datos

Semestre	Indica el semestre del registro
Alumno	Indica el código que pertenece al alumno
Nombre	Indica los apellidos y nombres del alumno
Unidad Académica	Indica la unidad Académica la que pertenece el alumno incluyendo las unidades académicas de pregrado, TUC, Ciclo Inicial, Escuela de Graduados, Escuela de Estudios Especiales y Consorcio de Universidades
Especialidad	Indica para postgrado y pregrado la especialidad a la que pertenece cada alumno dentro de la unidad Académica.
Etapas	Especifica para los pregrados si se trata de pregrado en estudios generales, pregrado en facultad u otros tipos de pregrado (plan adulto, planes especiales de licenciatura). En el caso de postgrado indica si se trata de maestría
Semestre_Inicio	Indica el primer semestre dentro del intervalo de análisis del cual se dispone un registro para el alumno en particular.
Semestre_Ingreso	Indica el semestre en el cual el alumno ingresó a la universidad
Canal_de_Ingreso	Indica el canal de ingreso (Primera Opción, Evaluación del Talento, CEPREPU, etc)
NumCreditosMatriculados	Indica en el semestre correspondiente al registro el número de créditos en el cual se matriculó el alumno
Condicion_Matricula	Indica si se trata de matrícula regular, por reincorporación o primera matrícula por ingreso
CRAEst	Indica el coeficiente de rendimiento académica estandarizado
Orden_Merito_%	Indica el orden de mérito a nivel de porcentaje respecto al total de alumnos matriculados en la misma unidad académica calculado en función al CRAEst.
Turno_%	Indica el turno de matrícula correspondiente en porcentaje respecto al CRAEst en la Unidad Académica.
NumCreditosAprobados	Indica el número de créditos aprobados al final del semestre
TotalCreditosAcumulados	Indica el total de créditos acumulados al final del semestre
Tipo_Beca	Indica si el alumno tiene Beca ó Beca en créditos
Descri_Beca	Para los alumnos que tienen Beca describe el

Sustento_Beca	tipo de la misma en el caso de Becas establecidos y la cantidad de créditos en el caso de las Becas en créditos. Hace referencia a la resolución rectoral donde fue otorgada la beca para el caso de becas regulares y para becas en créditos la referencia a la boleta o factura donde se aplicó.
Tipo_Prestamo	Indica si el alumno tiene préstamo estudiantil.
Descri_Prestamo	Indica el porcentaje de préstamo asignado.
Sustento_Prestamo	Hace referencia a la resolución rectoral donde fue otorgado el préstamo
Tipo_Dscto	Indica si el alumno cuenta con descuento sobre los derechos ordinarios de pago
Descri_Dscto	Indica el porcentaje del descuento
Sustento_Dscto	Hace referencia a la razón por la cual se aplica el descuento (resolución rectoral, docente, hijo de docente, entre otros)
Sexo	Indica el sexo del alumno
Escala	Indica la escala de pagos asignada al alumno (1 al 5) en caso de pregrado y otras para postgrado
IngresoFamiliar	Indica el ingreso familiar declarado en la evaluación económica efectuada por servicios sociales. No todos los registros contienen este dato
Rendimiento	Traduce el orden de merito en porcentaje en indicadores que reflejan fracciones relativas respecto a la población de la unidad académica. Valores : 1/20 sup, 1/10 sup, 1/5 sup, 1/3 sup, 1/2 sup, 1/2 inf, 1/3 inf, 1/5 inf, 1/10 inf y 1/20 inf
Efectividad	Es un cociente entre el número de créditos aprobados y el número de créditos matriculados.
RangoEfectiv	Asigna de acuerdo al valor de Efectividad un indicador relativo, Si Efectividad es menor a 0.2 le corresponde Muy Bajo, Si es mayor o igual a 0.2 y menor que 0.4 Bajo, si es mayor o igual a 0.4 pero menor a 0.6 Medio, si es mayor o igual a 0.6 y menor que 0.8 Alto y si es mayor que 0.8 Muy Alto

Los indicadores en color azul son datos registrados para la totalidad de alumnos dentro del intervalo de datos proporcionados, mientras que los de color verde solo para alumnos que posean becas, préstamos o descuentos y en algunos casos no se tiene el detalle del campo de sustentos referidos a cada una de ellas. Los campos en color rojo representan indicadores relativos calculados a partir de campos específicos de los indicadores en azul, que se detallan para facilitar la clasificación de los alumnos por intervalos de valores.

III. INDICADORES

Del total de indicadores disponibles fue necesario seleccionar el conjunto de aquellos que permitan la caracterización adecuada del total del alumnado de pregrado teniendo en cuenta los principales objetivos del estudio que fueron el

poder no solo calcular las probabilidades de transición hacia el estado del ciclo siguiente que permita definir el número estimado de alumnos sino también indicadores que puedan permitir dimensionar el fondo estimado que representan.

3.1 Información requerida

Para cumplir con los objetivos planteados se requirió que los estados permitan definir información necesaria respecto al estado de avance del alumno respecto a su plan de estudios, el monto de pago y el rendimiento del mismo en cada semestre. Se discuten a continuación que indicadores dentro de los cometidos en los datos iniciales permitirían calcular la información requerida.

a. Avance del alumno respecto al plan de estudios en el ciclo

El avance del alumno respecto al plan de estudios es una relación respecto al número de créditos que el alumno ha aprobado respecto al total requerido definido en el plan de estudios para su egreso.

Se seleccionó entonces el número de créditos aprobados respecto al plan de estudios de la especialidad, y el número total de créditos del plan de estudio por especialidad como indicadores para calcular con exactitud, sin embargo esto involucra lo siguiente:

1. Se emplea como indicador la especialidad debido a que cada especialidad cuenta con un propio plan de estudio. Esto supondría que deberían tomarse en cuenta un alto número de valores solo dentro de este primer indicador lo cual incrementaría el número posible de combinaciones como se verá más adelante.
2. Hay cambios en los planes de estudios que hacen que el referente al número máximo de créditos se modifique.
3. La variación entre el número de créditos de especialidades dentro de unidades académicas diferentes por lo general tiende a ser representativa, mientras que en especialidades de la misma unidad académica la variación respecto al número de créditos totales es considerablemente menor. Esto se puede analizar reflejando la carga promedio de créditos promedio de los alumnos de diferentes unidades académicas que es claramente perceptible.

En vista de lo anterior se empleó como indicador del número de créditos aprobados el referente al total de aprobados respecto al plan de estudios, sin embargo, la diferenciación de los límites entre semestre y semestres delimitados dentro del plan de estudio se tomarán respecto al promedio de la Unidad Académica, con lo cual se reduce la cantidad de valores que

serán necesarias en este segundo indicador a las 12 Unidades Académicas existentes.

Respecto a este punto entonces se emplearon los siguientes indicadores:

- Unidad Académica
- Número de créditos aprobados respecto al plan de estudios de la especialidad

El primer indicador permitió fijar límites de transición entre ciclos de manera que se compare el segundo indicador respecto a los límites determinados en promedio para cada ciclo respecto al primero para tener una idea referencial de en qué ciclo se encontraría en promedio el alumno.

b. Monto total de pago en el ciclo

El monto de pago en el ciclo depende del número de créditos matriculados en el semestre y de la escala de pagos del alumno. Se requirió entonces como indicadores de ambos:

- Escala
- Número de créditos matriculados

c. Rendimiento en el ciclo

El rendimiento del alumno está reflejado por el CRAEst, es decir el coeficiente de rendimiento académico estandarizado. La importancia del CRAEst radica en que permite determinar el orden de mérito del alumno, la cual constituye una de las bases para el otorgamiento de becas parciales o totales. Los criterios para la asignación de becas se fijan respecto a este orden de mérito en orden porcentual pero refiriéndose a él, en función a intervalos que corresponden al 1/20 sup, 1/10 sup,...1/10 inf y 1/20 inf. Este indicador ya se había calculado a partir de los datos iniciales en el indicador Rendimiento. Cabe destacar que el rango efectivo se determina en función del orden de mérito que está determinado por el CRAEst por lo que se cumple reflejar a través de este indicador el rendimiento del alumno.

- Rendimiento

3.2 Indicadores a emplear

De acuerdo al indica anterior se emplearán cinco indicadores en la definición de estados.

1. Unidad Académica
2. Número de créditos matriculados
3. Número de créditos aprobados
4. Escala
5. Rendimiento

IV. DEFINICIÓN DE ESTADOS

Como ya se mencionó previamente los estados se definirán como una combinación de los cinco indicadores seleccionados. Por lo tanto, cada estado tiene la estructura genérica:

(1,2,3,4,5)

Donde cada número se refiere a cada uno de los indicadores. Como cada indicador puede tomar determinados valores es necesario analizar todos los valores factibles que pueden presentar dentro de la data analizada y determinar entonces cuantas combinaciones entre los cinco indicadores existen.

Los valores de Unidad Académica, Escala y Rendimiento son simplemente los observados, mientras que en el caso de Créditos Matriculados y Créditos Acumulados hay un gran número de valores observados que no permitirían manejar cada caso particular como en el caso de los anteriores. Es por eso que se definen intervalos de valores observados. En el caso de créditos acumulados se definen sin mucho problema diez intervalos coincidentes justamente con los diez semestres regulares que comprende cada plan de estudio. En el caso de créditos matriculados se definen cinco intervalos. El intervalo inferior corresponde a los alumnos que según la clasificación actual no serían considerados alumnos regulares dado que el número de créditos matriculados es mayor que 12. El resto de intervalos se define con una amplitud de 4 créditos.

OBSERVACION: Debido a la cantidad de data observada sería factible plantear intervalos más reducidos, sin embargo como ya observamos esto constituiría incrementar proporcionalmente el número de estados al ser la cantidad de estos una combinatoria de los valores observados de todos los indicadores. Los tres intervalos centrales cubren la mayor parte de los valores observados mientras que el final es el límite máximo permitido de forma regular de manera que los alumnos que se encuentren por encima del serán aquellos que se encuentran cursando con autorización un número mayor de créditos. Bajo estas consideraciones se calcula el número de estados en base a la multiplicación de la cantidad de valores de cada uno de ellos:

1	2	3	4	5
12	5	10	5	10

Número total de estados **30000**

El número límite de estados deberá estar por debajo de 16000 ya que es límite actual de columnas permitidas en MS Excel 2007 que se empleará para efectuar la simulación a partir de la cadena de Markov a ser construida. Más aún incluso bajo este límite se esperarían tiempos de procesamiento bastante altos debido a que la matriz será como cualquier cadena de Markov

una cadena regular cuyo número de filas y columnas deben corresponder con el número de estados. Es necesario entonces reducir el número inicial previsto de estados a emplearse. Sin embargo, antes de reducir algunos valores observados se debe tener en cuenta si es que realmente todas las combinaciones de valores observados entre los estados son factibles o no.

4.1 Factibilidad de las combinaciones

Se inicia el análisis por el primer indicador, es decir la Unidad Académica.

a. Unidad Académica

Cada Unidad Académica puede tener los valores definidos en los indicadores de Número de Créditos Matriculados (2) , Escala (4) y Rendimiento(5). Si se analiza contra el indicador restante (Número de Créditos Acumulados) se pueden observar que no sucede lo mismo, debido a que existen tres tipos distintos de unidades académicas, aquellas que tienen alumnos de los diez semestres regulares como por ejemplo Arte o Arquitectura, aquellas que tiene alumnos de los cuatro primeros semestres regulares (Estudios Generales Ciencias y Letras) y aquellas que tienen a los alumnos en los últimos seis ciclos regulares (Ciencias e Ingeniería, Derecho, y las demás no mencionadas). Como tal esto se podría resumir con la tabla 2:

Tabla 2
Estado: Unidad Académica

ARQUITECTURA Y URBANISMO	Alumnos del primer al décimo ciclo
ARTE	
ESTUDIOS GENERALES CIENCIAS	Alumnos de los cuatro primeros ciclos
ESTUDIOS GENERALES LETRAS	
ADMINISTRACION Y CONTABILIDAD	Alumnos del quinto al décimo ciclo
CIENCIAS E INGENIERIA	
CIENCIAS SOCIALES	
CIENCIAS Y ARTES DE LA COMUN.	
DERECHO	
EDUCACION	
GESTIÓN Y ALTA DIRECCIÓN	
LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS	

Como tal dicha tabla refleja la relación real de combinaciones factibles entre (1) Unidad Académica y (3) Número de Créditos Acumulados. Con dicha modificación el cálculo real de estados correspondería al siguiente:

1	2	3	4	5
2	5	10	5	10
2	5	4	5	10
8	5	6	5	10

Número total de estados 19000

Teniéndose un total de 19000 estados aun por encima del límite fijado de 16000 máximo. Se procede a analizar el resto de indicadores.

b. Otros Indicadores

Para el caso de los indicadores restantes vemos que no existen combinaciones no factibles entre ellos. Por lo tanto el proceso siguiente sería empezar a reducir algunos valores observados en algunos de los indicadores de manera que se llegue a estar por debajo del límite prefijado. El proceso de selección de la reducción de éstos valores se deberá hacer teniendo en cuenta que no afecta de manera significativa el objetivo de los resultados que planeamos obtener centrándonos en los valores que reflejen una menor importancia relativa dentro del análisis.

4.2 Reducción de valores observados

Se evalúa cada uno de los indicadores para determinar en qué casos es posible reducir alguno de los valores observados. La Tabla 3 muestra el criterio empleado al evaluar cada uno de ellos.

Tabla 3
Análisis de estados

1: Unidad Académica	No es posible reducir
2: Num Créditos Matriculados	Es posible disminuir el número de intervalos. Actual es 5
3: Total Créditos Acumulados	Es posible disminuir el número de intervalos. Actual es 10
4: Escala	No es posible reducir
5: Rendimiento	Es posible agrupar la parte central ya que no es necesario el detalle de acuerdo a los objetivos del estudio

Se empezará entonces con el indicador de Rendimiento.

a. Rendimiento

La reducción se dará al agrupar 1/2 sup con 1/2 inf bajo el nombre de 1/2, debido a que el segmento de alumnos con rendimiento promedio no sería de especial interés al momento de efectuar simulaciones con el modelo, sino lo serían los rendimientos superiores e inferiores. Bajo esta modificación los valores que puede tomar el indicador Rendimiento serían los de la tabla 4:

Tabla 4
Análisis de estados: Rendimiento

Rendimiento
1/20 inf
1/10 inf
1/5 inf
1/3 inf
1/2
1/3 sup
1/5 sup
1/10 sup
1/20 sup

Recalculando el número de estados se tendría al reducirse el número de valores de Rendimiento de diez a nueve:

1	2	3	4	5
2	5	10	5	9
2	5	4	5	9
8	5	6	5	9

Número total de estados 17100

b. Número de Créditos Acumulados

Una reducción factible dado que estamos analizando semestres es expresarlos en base de una unidad de tiempo proporcional pero que represente un menor número de intervalos observados dentro de este indicador. La idea inicial sería plantear o definir intervalo de avance a nivel de años de estudio, lo cual podría ser factible ya que posteriormente al momento de calcular en la matriz que sería absorbente por la naturaleza del proceso, se puede afectar cada estado por un periodo de tiempo anual en lugar de semestral. La tabla 5 ilustra esta propuesta:

Tabla 5
Análisis de estados: Rendimiento

TotalCréditosAcumulados
Rango asociado al primer año
Rango asociado al segundo año
Rango asociado al tercer año
Rango asociado al cuarto año
Rango asociado al quinto año

Sin embargo, debemos tener en cuenta que como los estados se regirán por probabilidades de transición entre periodo y periodo semestral y que este estado se determinará en función de un rango podría existir un cierto error asociado si es que se definen estados anuales en algunos años en específico. Uno de ellos sería el quinto año que se dónde se produce el egreso de los alumnos. Las probabilidades históricas de transición podrían originar en algunos casos que alumnos del cuarto ciclo den menos de dos transiciones en los estados de quinto año y eso no corresponde con la realidad. Similarmente en el caso del segundo y el tercer año se debe tener énfasis en que existen unidades académicas en las cuales se da el paso de alumnos entre cuarto y quinto ciclo (Estudios Generales a Facultades) y que la definición actual podría permitir el paso entre segundo y tercer año que no necesariamente coincidan con dichos ciclos debido a que estamos manejando rangos relativos. Por tal razón para evitar errores que podrían originarse al replicar las probabilidades de transición histórica sería necesario ampliar el detalle semestral en el segundo, tercer y quinto año.

Tabla 6
Análisis de estados: Total Creditos

TotalCreditosAcumulados
Rango asociado a dos primeros ciclos
Rango asociado a tercer ciclo
Rango asociado a cuarto ciclo
Rango asociado a quinto ciclo
Rango asociado a sexto ciclo
Rango asociado a sétimo a octavo ciclo
Rango asociado a noveno ciclo
Rango asociado a décimo ciclo

El número de estados finalmente se reduce a 13950 que está por debajo del límite manejable.

1	2	3	4	5
2	5	8	5	9
2	5	3	5	9
8	5	5	5	9

Número total de estados

13950

4.3 Estados

Luego de analizar la factibilidad de las combinaciones entre los valores observados en los indicadores y de reducir la cantidad de valores agrupándolos hasta tener un número de estados por debajo del límite máximo definido se tiene que finalmente los estados a emplearse en la cadena de Markov.

Estos serían dentro de la Cadena de Markov estados intermedios en la transición del ingreso del alumno en primer ciclo hasta el último ciclo de estudios. Se deben agregar dos estados adicionales que reflejarían el comportamiento absorbente de la matriz. Estos estados adicionales serían el

egreso y la otra posibilidad es la no matricula en el ciclo siguiente,

El egreso sería un estado absorbente que solo podría ser accedido desde los estados que representan el último ciclo de estudios. Se calcularía en base a la información del periodo histórico en función del número de alumnos que se encuentren en el último rango de valores del indicador (3) y que no cuenten con información de matrícula en el ciclo siguiente lo que reflejaría la conducta de egreso.

El otro estado adicional de no matricula es ciertamente un tema más complejo, ya que esta no matricula en algunos casos refleja salida de la universidad por diferentes motivos algunos de los cuales podrían generar una reincorporación el ciclo siguiente. Dado además que la reincorporación no necesariamente se produce en el ciclo inmediato al abandono y que no se tiene información al nivel del detalle de los estados de otros sistemas de la universidad se procede a reflejar este estado como un estado absorbente. La razón de asumirlo como tal es que estaríamos refiriéndolo como abandono de la universidad, y el efecto de reincorporación estaría incluido en la forma en la que se estructura la matriz. La matriz reflejará la conducta del número de alumnos que se encuentran matriculados en un semestre dado y su distribución en los estados hacia el ciclo próximo, por lo que si se quiere calcular el número de alumnos hacia el ciclo siguiente debería sumarse un cierto número de alumnos que podría adicionarse por efecto del número promedio de reincorporaciones producidas en ciclos anteriores, que emplearía un cálculo anexo en simultáneo al resultado de la matriz. Con dicha salvedad cabe resaltar entonces que los resultados que arrojaría la matriz al multiplicar los alumnos matriculados en un ciclo dado es el comportamiento de los mismos hacia el periodo inmediato siguiente. Este estado se calcularía simplemente teniendo en cuenta el número de alumnos que en un ciclo dado de análisis están matriculados y el siguiente no lo están y que no son los definidos por el estado anterior, es decir no cumplen con el límite de créditos necesarios para egreso.

El número total de estados de la matriz es entonces de 13952 estados, con dos estados absorbentes.

IV. ESTRUCTURA DE LA CADENA

Definidos los estados en el paso anterior se puede plantear la estructura de la matriz que representará la cadena de Markov. Como cualquier Cadena de Markov tendrá el mismo número de filas y columnas siendo estas coincidentes a nivel de orden. Esto daría una matriz de 13952 filas x 13952 columnas. La matriz requerirá de probabilidades de transición entre los estados que se explicarán en el paso siguiente. Además como el objetivo del estudio es poder modelar el comportamiento futuro de los alumnos que se encuentran en el periodo actual

tendrá al costado de cada estado definido en las filas el número de alumnos en cada estado de manera que al multiplicarse por las probabilidades se pueda obtener a nivel de columnas el número estimado de alumnos en cada uno de los estados el ciclo siguiente.

La Figura 1 muestra la estructura genérica de la matriz pre construida ubicada en la Hoja de cálculo “Matriz Inicial”. Los botones son macros preconfiguradas que toman en cuenta la lógica discutida en la definición de estados, las relaciones entre los indicadores y los valores ingresados en los rangos del indicador (2) Número de Créditos Matriculados y (3) Número de Créditos Acumulados para ingresar y actualizar dentro de la matriz los estados.

Figura 1
Estructura de la matriz

Las probabilidades además de generarse como variables aleatorias normales deben cumplir dos condiciones básicas. La primera es que la suma de probabilidades por fila debe ser igual a uno. Y la segunda es que los valores de las variables aleatorias normales de probabilidades deben ser acotadas al intervalo de valores factible entre 0 y 1.

Para generar las variables se pueden emplear funciones de Excel, sin embargo no es lo óptimo pues debería emplearse como base un aleatorio de MS Excel que variará al actualizar cada celda u operación en la matriz por eso se opta por emplear el @Risk para la definición de las variables aleatorias de probabilidad. La fórmula equivalente en @Risk es RiskNormal(promedio,desviación, RiskTruncate(0,1)) que devolverá de forma estática el valor del promedio, es decir a diferencia del Excel no generará sobreprocesamientos por la actualización del aleatorio. La función sin embargo al ejecutar la simulación desde el @Risk generará internamente un aleatorio que devolverá un valor de probabilidad de transición normalmente distribuido con la media y desviación especificados en la fórmula y que este en el intervalo entre

zero y uno cumpliendo uno de los requisitos básicos necesarios en el manejo de las probabilidades.

V. SIMULACION

El proceso de simulación se efectuará ejecutando una determinada cantidad de réplicas iniciales. Esto se configura en los parámetros de configuración del Risk. Se definen como parámetros iniciales 100 réplicas y se ejecuta la simulación observándose los resultados obtenidos del ancho del intervalo de confianza en cada celda de la fila 3.

El criterio para determinar el número de réplicas necesario fue definir qué tan pequeño se desea que sea este valor. Una vez determinado un número deseable del ancho del intervalo de confianza para los resultados se ingresa y se aplica la fórmula de cálculo de número de réplicas por cada celda en la fila número 3, determinando el n* como el mayor valor observado de todos los n* calculados. La fórmula a aplicar en este caso es la siguiente:

$$n^* = \left\lceil n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right\rceil$$

n representa el número inicial de réplicas que equivaldría a 100, h el valor de la mitad del ancho del intervalo de confianza calculado en cada celda, y h* el deseado en cada celda, donde n* es finalmente el redondeo al entero superior de la expresión. Se elige como el nuevo número de réplicas al mayor de todos los n determinados que asegurará que se obtengan los resultados con el ancho medio del intervalo de confianza deseado

REFERENCES

- [1] Frederick S. Hillier (2010). “Introduction to operations research”, 4th ed
- [2] James N.Johnstone & Hugh Philp (1973). “The application of a Markov Chain in educational planning”
- [3] Robert Hlavatý1 & Ludmila Dömeová (2014) “Students’ Progress throughout Examination Process as a Markov Chain”
- [4] Dr. Rahmtalla Yousif Adam (2013)” An Application of Markov Modeling to the Student Flow in Higher Education in Sudan”
- [5] Alenka Brezavšček, Mirjana Pejić Bach , Alenka Baggia(2017) “Markov Analysis of Students’ Performance and Academic Progress in Higher Education”
- [6] R.A Adeleke, K.A Oguntuase, R.E Ogunsakin(2014) “Application Of Markov Chain To The Assessment Of Students’ Admission And Academic Performance In Ekiti State University”