

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

UNIDAD DE TITULACIÓN

UNA APROXIMACIÓN ALTERNATIVA A LA METODOLOGÍA DE PROYECTOS TRADICIONAL PERT PARA LA ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE ESCRUTINIO EN JUNTAS RECEPTORAS DEL VOTO PARA LA DIGNIDAD PRESIDENTE USANDO LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD WEIBULL.

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO
MAGISTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, MENCIÓN
OPERACIONES EN SECTORES ESTRATÉGICOS**

ELICIO DAVID GUANOTOA AMAGUA
david.guanotoa@gmail.com

Director: Fis. Juan Régulo Ortiz Castro. MBA
juan.ortiz@epn.edu.ec

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Elicio David Guanotoa Amagua, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Elicio David Guanotoa Amagua

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

Como director del trabajo de titulación UNA APROXIMACIÓN ALTERNATIVA A LA METODOLOGÍA DE PROYECTOS TRADICIONAL PERT PARA LA ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE ESCRUTINIO EN JUNTAS RECEPTORAS DEL VOTO PARA LA DIGNIDAD PRESIDENTE USANDO LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD WEIBULL desarrollada por Elicio David Guanotoa Amagua, estudiante de la MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la Defensa Oral.

Fis. Juan Régulo Ortiz Castro. MBA
DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida, por darme fuerzas para seguir adelante y por ayudarme en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi madre, y a mi esposa por su apoyo y amor incondicional.

A mi director, Juan Ortiz, por su orientación precisa y por el tiempo dedicado en la revisión de esta investigación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi hija, Valentina, y esposa,
Viviana, quienes hacen que la vida sea maravillosa y a
quienes amo con todo mi corazón, a mi madre por
enseñarme que nada es imposible y a mi padre que
desde el cielo siempre está guiándome.

Familia querida por ustedes y para ustedes es todo logro alcanzado.

David

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	i
LISTA DE GRÁFICOS	iii
LISTA DE TABLAS	iv
LISTA DE ANEXOS	v
LISTA DE ECUACIONES.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Pregunta de investigación	3
1.4. Objetivo general	4
1.5. Objetivos específicos.....	4
1.6. Alcance.....	4
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Sistema Electoral Ecuatoriano	6
2.2. Procesos electorales presidenciales en el Ecuador	9
2.3. Sistema de transmisión y publicación de resultados.....	14
2.4. Metodología de estimación de tiempos de proyectos PERT	21
2.6. Algoritmo Computacional	35
3. METODOLOGÍA	38
3.1. Enfoque	38
3.2. Tipo de investigación	38
3.3. Diseño de la investigación	39
3.4. Técnica de recolección de información	39

3.5. Población y Muestra	40
3.5.1. Población	40
3.5.2. Muestra	40
3.5.3. Temporalidad	41
3.5.4. Foco	41
3.6. Obtención y análisis de la información.....	42
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1. Programa computacional y resultados numéricos.....	44
4.1.1. Muestra de actas de tiempos de escrutinio de elecciones presidenciales	44
4.2. Presentación de resultados	49
4.2.1. Resultados numéricos	49
4.2.2. Resultados gráficos	52
4.3. Discusión.....	54
4.3.1. Obtención de parámetros de la distribución Weibull.	54
4.3.2. Duración del tiempo de escrutinio.....	56
5. CONCLUSIONES	58
6. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Etapas del proceso de escrutinio.....	1
Gráfico 2. Circunscripciones electorales	9
Gráfico 3. Actas de escrutinio	13
Gráfico 4. Escrutinio en juntas receptoras del voto	20
Gráfico 5. Red PERT	23
Gráfico 6. Densidades de la Distribución Weibull con diferentes valores del parámetro de localización.....	29
Gráfico 7. Densidades de la Distribución Weibull con diferentes valores del parámetro de escala.....	29
Gráfico 8. Densidad de la distribución Weibull con diferentes valores del parámetro de forma	30
Gráfico 9. Porcentajes de actas por provincia en la muestra utilizada	46
Gráfico 10. Porcentaje de actas por zona en la muestra utilizada	47
Gráfico 11. Porcentaje de actas por sexo en la muestra utilizada.....	47
Gráfico 12. Densidad de tiempos de escrutinio en JRV's	52
Gráfico 13. Avance del escrutinio en JRV's.....	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Muestra de la información recolectada.....	42
Tabla 2. Número de actas por provincia en la muestra utilizada.....	45
Tabla 3. Número de actas por zona en la muestra utilizada	46
Tabla 4. Número de actas por sexo en la muestra utilizada.	47
Tabla 5. Estadística descriptiva de tiempos de escrutinio de la muestra utilizada	48
Tabla 6. Tiempos de escrutinio simulado con muestra histórica.....	50
Tabla 7. Tiempos de escrutinio simulados a partir del juicio de un experto	50
Tabla 8. Avance de escrutinios reales	51
Tabla 9. Avance de escrutinio en JRV's	51
Tabla 10. Resultados de ajustar el modelo Weibull presentado a los datos	4855

LISTA DE ANEXOS

Anexo I. Función para obtener el gráfico de densidades de tiempos de escrutinio	65
Anexo II. Función para obtener el gráfico de avance del escrutinio.....	67

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación (1). Función de densidad de probabilidad de la distribución Weibull.....	27
Ecuación (2). Confiabilidad de la distribución Weibull	27
Ecuación (3). Moda de la distribución Weibull	28
Ecuación (4). Varianza de la distribución Weibull	28
Ecuación (5). Media de la distribución Weibull	28
Ecuación (6). Estimación del percentil inferior según modelo Weibull	29
Ecuación (7). Estimación del percentil superior según modelo Weibull.....	29
Ecuación (8). Relación entre percentil inferior y superior	31
Ecuación (9). Relación entre la estimación de la moda y el percentil superior	32
Ecuación (10). Parámetro de escala según el modelo Weibull	32
Ecuación (11). Función de densidad de la distribución Weibull desplazada.....	32
Ecuación (12). Confiabilidad de la distribución Weibull desplazada.....	32
Ecuación (13). Moda de la distribución Weibull desplazada	32
Ecuación (14). Localización de la distribución Weibull desplazada.....	32
Ecuación (15). Relación entre las estimaciones a juicio del experto según modelo Weibull.....	33
Ecuación (16). Expresión simplificada para obtener el parámetro de forma según el modelo Weibull	33
Ecuación (17). Varianza temporal según modelo Weibull	34
Ecuación (18). Constante de la varianza según modelo Weibull.....	34
Ecuación (19). Varianza según modelo Weibull	34
Ecuación (20). Expresión simplificada para obtener el parámetro de escala según el modelo Weibull	34
Ecuación (21). Expresión simplificada para obtener el parámetro de desplazamiento según el modelo Weibull	34

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es presentar un modelo matemático dado por la distribución de probabilidad Weibull como una alternativa a la metodología de proyectos tradicional PERT para la estimación de tiempos de escrutinio en juntas receptoras del voto (JRV's) para la dignidad presidente. El modelo propuesto permite estimar la distribución desconocida de tiempos de escrutinio con una distribución de probabilidad Weibull y del cual se implementa un programa computacional en el lenguaje R. El modelo es validado en base a la comparación con las elecciones presidenciales del año 2013 y mostrando que el tiempo de escrutinio en JRV's puede ser satisfactoriamente estimado con una distribución de probabilidad Weibull. Los resultados confirman que el modelo genera estimaciones rápidas y precisas. En efecto, conocidas las estimaciones requeridas por el modelo propuesto, uno puede estimar el inicio, avance y fin del escrutinio en las juntas receptoras del voto con precisión. El modelo propuesto tiene la ventaja de que requiere únicamente 3 estimaciones a diferencia de PERT con parámetros que en general son difíciles de estimar y con múltiples estimaciones costosas. Finalmente, la flexibilidad del modelo Weibull y su fácil implementación en hojas electrónicas hacen posible que el modelo se use bajo una amplia variedad de escenarios de simulación.

Palabras clave: Estimación de tiempos de escrutinio, distribución de probabilidad Weibull, PERT, elecciones presidenciales.

ABSTRACT

The aim of this research is to present a mathematical model given by the Weibull probability distribution as an alternative to the traditional PERT project methodology for the estimation of counting times in vote receiving boards (JRV's) for the dignity of the president. The proposed model allows for the estimation of the unknown distribution of counting times with a Weibull probability distribution and from which a computer program in the R language is implemented. The model is validated based on the comparison with the 2013 presidential elections and showing that the counting time in JRV's can be satisfactorily estimated with a Weibull probability distribution. The results confirm that the model generates fast and accurate estimates. Indeed, once the estimates required by the proposed model are known, one can estimate the start, progress and end of the vote count in the vote receiving boards with precision. The proposed model has the advantage that it requires only 3 estimates as opposed to PERT with parameters that are generally difficult to estimate and with multiple costly estimates. Finally, the flexibility of the Weibull model and its easy implementation in spreadsheets makes it possible to use the model under a wide variety of simulation scenarios.

Keywords: Counting time estimation, Weibull probability distribution, PERT, presidential elections

1. INTRODUCCIÓN

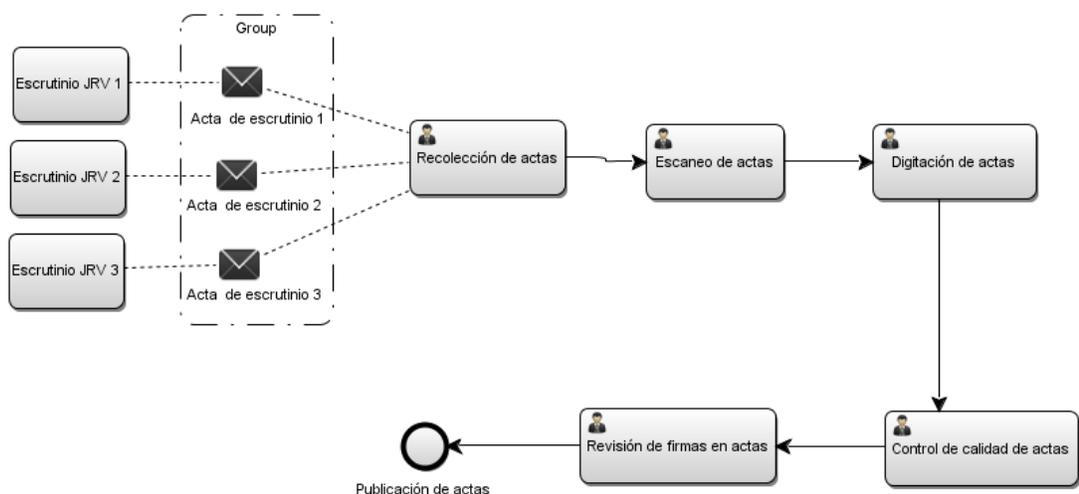
1.1. Antecedentes

El Consejo Nacional Electoral (CNE) en su afán por cumplir con lo establecido en la Constitución y Código de la Democracia: organizar procesos electorales transparentes e inclusivos, entregando resultados que son el fiel reflejo de la voluntad de los ciudadanos en las urnas enfrenta grandes desafíos en el proceso de escrutinio que empieza una vez cerrado el horario de votación a las 17h00 el mismo día del proceso electoral.

El proceso de escrutinio (Gráfico 1) en los procesos electorales cuenta con varias etapas que van desde el conteo de votos en las juntas receptoras del voto (JRV's) hasta la revisión de firmas de las actas de escrutinio (CNE, 2016a; CNE, 2016b) y cuyos tiempos de ejecución requieren ser cuantificados para anticiparse a eventos desfavorables que puedan jugar en contra de la imagen del Consejo Nacional Electoral y reflejar una falta de transparencia ocasionados por problemas de retrasos, colapso o sobrecarga del sistema, entre otros varios.

Gráfico 1.

Etapas del proceso de escrutinio



Fuente: Elaboración propia.

Es importante notar el rol que juega el tiempo de duración del escrutinio en las juntas

receptoras del voto, el cual puede demorar entre 5 y 8 horas una vez iniciado el escrutinio a las 17h00, para el establecimiento de horarios adecuados de difusión de resultados preliminares y puesto que después de esta etapa el proceso se encuentra automatizado. Teniendo la mayoría del proceso de escrutinio automatizado, el problema por tanto radica en cómo cuantificar el tiempo que durará el escrutinio en las JRV's ya que esta información permitirá a los organismos electorales poder fijar de forma más precisa los horarios de difusión de resultados preliminares, garantizando así que la difusión de resultados se haga en el momento oportuno.

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los desafíos a los que se enfrentan los organismos electorales corresponde a la difusión de resultados ya sean preliminares o finales del proceso electoral (Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador – Código de la Democracia, 2013). En este sentido, tal difusión se puede ver retrasada por la demora en cada una de las actividades que comprende el proceso de escrutinio. Por la complejidad intrínseca y singularidad propia de un proceso electoral es complicado hacer pronósticos o estimaciones a priori del comportamiento del proceso de escrutinio en cada una de las etapas que lo conforman para así poder establecer la confianza pública en el proceso electoral.

En este estudio de revisión bibliográfica se presenta una solución que permitirá obtener una estimación del tiempo requerido para la etapa de escrutinio de votos en las JRV's a través del modelado mediante una distribución Weibull aproximada a partir de 3 estimaciones (2 estimaciones de percentiles y una estimación de la moda) debido a que se ajusta de mejor manera a datos de tiempos de tareas, permite datos únicamente positivos y tiene un umbral mínimo positivo (McCombs et al., 2009).

En este sentido, se presenta un modelo matemático de simulación dado por la distribución Weibull que ayudará a la toma de decisiones en aspectos tales como el establecimiento de horarios de difusión de resultados preliminares, identificar cuellos de botella que retrasan el flujo del procesamiento de actas, acondicionamiento de cada una de las etapas del proceso de escrutinio y entre otras aplicaciones que podrían surgir a futuro.

El modelo propuesto se aplica al proceso electoral 2013 y considerando únicamente la dignidad de presidente. Además, debido a que el objetivo de este estudio es presentar un modelo como una alternativa a la metodología de proyectos tradicional PERT para la estimación de tiempos, no se realizan pruebas de bondad de ajuste ya que la propuesta aquí presentada no se preocupa de si el modelo Weibull puede describir satisfactoriamente la distribución subyacente, sino más bien la propuesta de este estudio proporciona un modelo que a partir de 3 estimaciones se podrá conocer la duración de toda una tarea independientemente de la distribución que sigan los datos. Note que para obtener estas 3 estimaciones no necesitamos grandes volúmenes de datos sino basta con la experiencia de un experto para establecer estos valores.

Por tanto, ¿por qué considerar el modelo Weibull sobre la metodología PERT? La respuesta está en que el modelo Weibull no requiere una estimación de la varianza pues este valor es calculado exactamente (al igual que el valor medio), se requieren únicamente 3 estimaciones a diferencia de PERT con múltiples estimaciones costosas y por su fácil implementación en hojas de cálculo electrónicas (Cottrell, 1999; Mc Combs et al., 2009).

1.3. Pregunta de investigación

Basado en la formulación del problema de investigación y a los objetivos de estudio, la pregunta de investigación se resume en lo siguiente:

¿Cuál es el tiempo que se espera dure el escrutinio en las JRV's visto a través de un modelo matemático?

1.4. Objetivo general

Presentar un modelo matemático que permita simular tiempos de escrutinio para procesos de elecciones presidenciales.

1.5. Objetivos específicos

- Modelar el tiempo de escrutinio usando una distribución de probabilidad Weibull.
- Estimar el tiempo que dura el escrutinio en las JRV's.
- Aplicar el modelo presentado para la estimación de la duración del tiempo de escrutinio para una elección histórica específica.

1.6. Alcance

El presente estudio tiene un alcance de tipo descriptivo, se aplicará la investigación bibliográfica con la técnica del análisis documental en fuentes primarias y secundarias referentes a la teoría de estimación de tiempos de duración de tareas y procedimientos de operaciones en el ámbito electoral. Arias (2009) señala que la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Así mismo, Arias sostiene que la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas.

Se procedió con la recopilación, análisis y presentación de un modelo que permitirá modelar el tiempo de duración del escrutinio de votos en JRV's para procesos electorales presidenciales. Además, el modelo aquí presentado no se preocupa de si el modelo Weibull puede describir satisfactoriamente la distribución subyacente de los tiempos, razón por la cual no se realizarán pruebas de bondad de ajuste para verificar si los datos siguen una distribución específica. Finalmente, la validación y contraste del modelo será realizado en base a la obtención de la curva de avance del escrutinio en JRV's a través del modelo presentado y su comparación decil por decil con los resultados obtenidos de una muestra del proceso electoral 2013 y de esta manera se habrá modelado y obtenido el tiempo de duración del escrutinio en las JRV's.

2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordará un enfoque general de los procesos electorales presidenciales y se presentará el rol del Consejo Nacional Electoral en estos procesos. Así mismo, se introduce el modelo Weibull propuesto, así como una breve introducción a la metodología de proyectos tradicional PERT.

2.1. Sistema Electoral Ecuatoriano

Desde la posición del Consejo Nacional Electoral (2014) un sistema electoral constituye “un conjunto de reglas sobre diversos elementos que se relacionan entre sí (sistema), a través de las que los electores expresan sus preferencias políticas, posibilitando convertir los votos en escaños o cargos de gobierno (electoral)” (p. 27). En el caso ecuatoriano, estos sistemas electorales son los que instauran las reglas de juego para elecciones presidenciales, son específicos del país y son una parte fundamental de la democracia participativa.

El motor de los sistemas electorales se ve reflejado en las siguientes formas (Consejo Nacional Electoral, 2014):

- La voluntad del pueblo y se fortalece del nivel de participación de la ciudadanía a través de la toma de decisiones colectivas a través del voto.
- Como un instrumento que permite que la pluralidad de una sociedad se vea reflejada en la conformación de los representantes nacionales y locales, en el ejercicio de los mismos y en favor del interés de todos los ciudadanos y ciudadanas.

De esto se desprende dos cosas importantes de los sistemas electorales: la primera es que la esencia del sistema electoral es habilitar a las organizaciones políticas su participación en elecciones, y la segunda es la importancia del voto ya que a través de esta la ciudadanía tiene la opción de escoger a sus representantes de entre los candidatos/as presentados por las

organizaciones políticas (Consejo Nacional Electoral, 2014).

Los sistemas electorales se componen de 4 elementos (Consejo Nacional Electoral, 2014):

- Forma de voto: hace referencia a la manera en la que el ciudadano/a puede marcar su voto en la papeleta el día de la elección.
- Forma de lista: hace referencia a la disposición de los candidatos/as propuestos por las organizaciones políticas en la papeleta electoral.
- Designación de autoridades o asignación de escaños.
- Circunscripciones electorales: corresponden a las unidades territoriales en la que los electores emiten los votos los mismos que constituyen el fundamento para el reparto de escaños a los candidatos u organizaciones políticas, con independencia de los votos emitidos en otra unidad territorial. Adicionalmente, tenemos el tamaño y tipo de la circunscripción que hacen referencia al número de escaños y alcance (nacional o subnacional) respectivamente de cada circunscripción.

Por tanto, el sistema electoral para elecciones presidenciales históricas ha estado tradicionalmente caracterizado por (Consejo Nacional Electoral, 2014):

- Forma de voto: corresponden a elecciones unipersonales en la que sólo se puede marcar el casillero de la candidatura o binomio de preferencia del elector desde una lista única.
- Forma de lista: se presenta en la papeleta un casillero especial por cada organización política para elegir un candidato o binomio.
- Designación de autoridades o asignación de escaños: el art. 161 de la Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador - Código de la Democracia (2013) sostiene que se declara ganador a quien obtiene la mayoría absoluta de votos válidos o, si obtiene al menos el 40% de los votos válidos y una

diferencia mayor de diez puntos porcentuales sobre la votación lograda por el binomio ubicado en el segundo lugar. Cuando esto no se cumple, el mismo artículo señala que: “se realizará una segunda vuelta electoral dentro de los siguientes cuarenta y cinco días contados desde la proclamación de resultados, y en ella participarán los dos binomios más votados en la primera vuelta”.

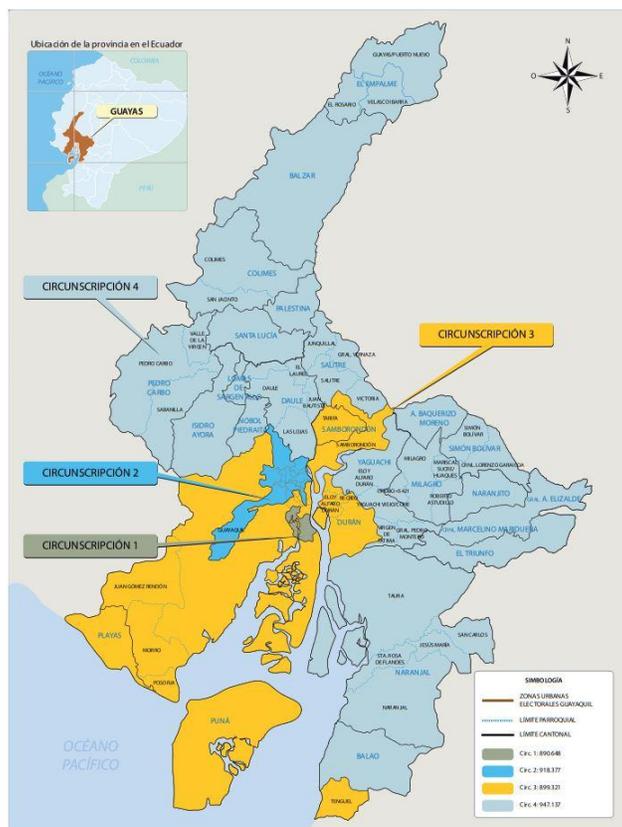
- Circunscripciones electorales: corresponden simplemente a toda la región ecuatoriana como una circunscripción única (que incluye el territorio nacional y exterior) pero que en el caso de dignidades pluripersonales se elabora una delimitación geográfica de las regiones del Ecuador (por ejemplo, ver gráfico 2) con el objetivo de garantizar que todos los ciudadanos se sientan representados, es decir, los representantes electos tengan relación directa con el territorio y los pobladores.

Como conclusión a esta sección podemos resaltar algunos puntos que son importantes para nuestra investigación. En primer lugar, tenemos que un candidato presidencial está reflejado en un casillero en una papeleta y corresponde a una dignidad unipersonal, la simplicidad tanto de votación como de la disposición en la papeleta hacen del escrutinio de esta dignidad un desafío mucho menos complejo que en comparación a dignidades pluripersonales en la que se eligen varios candidatos ya sea de una sola lista o entre varias listas. Otro aspecto interesante son las circunscripciones que en el caso de la dignidad de presidente tenemos una sola circunscripción por ser una dignidad de alcance y representatividad nacional lo cual hace factible el estudio de esta dignidad a través de una muestra estadística nacional (evitando la necesidad de un muestreo por conglomerados o estratos) para propósitos de inferencia sobre la misma. Estos factores (forma de voto, disposición de la lista, tipo de dignidad, circunscripción) junto al hecho de ser la primera dignidad en escrutarse una vez finalizado el proceso eleccionario permitiría la estimación de tiempos de escrutinio con niveles razonables de precisión por cuanto existen papeletas más fáciles y rápidas de escrutar y

menos fatiga mental de los miembros de la junta receptora del voto al realizar el escrutinio.

Gráfico 2.

Circunscripciones electorales



Fuente: Consejo Nacional Electoral (2013).

2.2. Procesos electorales presidenciales en el Ecuador

La organización de la Función Electoral se encuentra normada bajo la Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador - Código de la Democracia, 2013. Así mismo, la Función Electoral estará representada por el Consejo Nacional Electoral (CNE).

Sobre la convocatoria a elecciones la Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas

de la República del Ecuador - Código de la Democracia (2013), en la Sección Segunda, art. 84 “A todo acto electoral, precederá la correspondiente convocatoria que será publicada en el Registro Oficial. Dicha convocatoria se difundirá en los diarios de mayor circulación del país, por medios electrónicos y mediante cadena nacional de radio y televisión, utilizando los espacios de que dispone el Gobierno Nacional” (p. 19). Además, “El Consejo Nacional Electoral hará la convocatoria para las elecciones, con al menos ciento veinte días de anticipación al de las votaciones” (Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador - Código de la Democracia, 2013, p. 19).

Para la elección de Presidente o Presidenta, en la misma sección en el art. 89 se establece que la elección se realizará cada cuatro años para elegir en el mismo día Presidenta o Presidente y Vicepresidenta o Vicepresidente de la República.

Para la posesión del Presidente o Presidenta, el art. 91 señala que esto se lo hará el 24 de mayo del año de la elección y ante la Asamblea Nacional.

Sobre la presentación de candidaturas por parte de las organizaciones políticas la Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador, Código de la Democracia, en la Sección Tercera, art. 93 “A toda elección precederá la proclamación y solicitud de inscripción de candidaturas por las organizaciones políticas y su calificación a cargo de la autoridad electoral competente, las candidatas y candidatos deberán reunir los requisitos y no encontrarse comprendidos en las prohibiciones determinadas en la Constitución de la República y en la ley.”

Para la candidatura de Presidenta o Presidente, en la misma sección en el art. 95 se establece los siguientes requisitos: ser ecuatorianos por nacimiento, haber cumplido treinta y cinco años de edad a la fecha de inscripción de su candidatura, estar en goce de los derechos políticos y

no encontrarse incurso en ninguna de las inhabilidades o prohibiciones establecidas en la Constitución. Adicionalmente, el art. 97 afirma que estos mismos candidatos presentarán junto con el formulario de inscripción un plan de trabajo con al menos el siguiente contenido:

1. Diagnóstico de la situación actual;
2. Objetivos generales y específicos; y,
3. Plan de trabajo plurianual de acuerdo a la dignidad a la que hubieren optando, en el que se establecerán las propuestas y estrategias a ejecutarse de resultar electos;
4. Mecanismos periódicos y públicos de rendición de cuentas de su gestión.

En la solicitud de inscripción se hará constar también los datos personales del responsable del manejo económico de la campaña, junto con su firma de aceptación.

El art. 99 señala que las candidaturas de Presidenta o Presidente de la República y su binomio vicepresidencial serán considerados candidaturas unipersonales. En este sentido, el Atlas Electoral del Ecuador resalta que la presidencia de un país se constituye sobre la elección de un cargo uninominal o unipersonal (su titularidad y ejercicio es responsabilidad de una persona).

En el tema de votaciones y escrutinio, el art. 119 sostiene que “Para expresar su voluntad el elector en el caso de elecciones unipersonales, marcará el casillero de la candidatura o del binomio de su preferencia”.

Para el escrutinio de la JRV, en el art. 124 se determina que “Una vez terminado el sufragio, se iniciará de manera inmediata el escrutinio en la Junta Receptora del Voto empleando para ello el tiempo que fuere necesario hasta concluirlo” para lo cual dependiendo de la elección convocada se efectuará en primer lugar para las unipersonales y, en segundo lugar, para las pluripersonales. El proceso de escrutinio y su tiempo de duración que es materia de esta

investigación, en el art. 125 indica:

1. La Junta verificará si el número de papeletas depositadas en las urnas está conforme con el número de sufragantes. Si se establecieren diferencias entre las papeletas escrutadas y el número de electores que votaron, por sorteo se excluirán del escrutinio las papeletas excedentes y se dejará constancia de ello en el acta;

Si el número de papeletas es inferior al número de sufragantes se dejará constancia de ello en el acta y se continuará el escrutinio con las papeletas existentes.

2. El Secretario leerá en voz alta el voto que corresponda a cada papeleta y lo entregará al Presidente para que compruebe la exactitud, lo mismo que a los otros vocales de la junta y a los delegados si éstos lo solicitaren. Dos vocales de la Junta harán de escrutadores. De producirse discrepancias entre los escrutadores sobre los resultados, se procederá a repetir el escrutinio; y,

3. Concluido el escrutinio se elaborará el acta por triplicado detallando el número de votos válidos, votos en blanco y votos nulos.

Se tendrá como válidos los votos emitidos en las papeletas suministradas por la Junta y que de cualquier modo expresen de manera inteligible la voluntad del sufragante.

El número de personas con las que se cuenta para la realización de las actividades 1, 2 y 3 corresponden como máximo a 7 que son el total de miembros en cada una de las juntas receptoras del voto. El tiempo que puede tardar cada actividad es variable debido a posibles fallas en la operatividad que pueda requerir determinada actividad o por el tamaño de las JRV's. El tiempo que puede transcurrir hasta finalizar el escrutinio está en el rango de 10 minutos a aproximadamente 7 horas según la muestra de tiempos histórica usada en el capítulo 4.

Sobre las actas de instalación y de escrutinio se determina en el art 127 de la Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador - Código de la Democracia (2013), Sección quinta, incisos uno y cuatro que "El acta de instalación y el escrutinio será

suscrita por triplicado por todos los vocales de la Junta y por los delegados de los sujetos políticos que quisieren hacerlo...; y, el tercer ejemplar se fijará en el lugar donde funcionó la junta receptora del voto, para conocimiento público”. Asimismo, en el artículo innumerado después del art 127 se manifiesta que el CNE será responsable de implementar los procedimientos tecnológicos que permitan hacer públicos los resultados electorales provinciales y las imágenes de las actas de escrutinio. Esta difusión se realizará desde el momento que se obtengan los primeros datos.

El alcance de nuestro estudio concluye hasta lo expuesto en el párrafo anterior el cual resalta dos cosas importantes para nuestro estudio: la primera indica que el escrutinio en las juntas receptoras del voto termina una vez se suscribe el acta de escrutinio y su contenido se hace de conocimiento público, mientras que el otro particular interesante indica que existe una fuente de datos (imágenes de las actas) de dominio público y a las cuales se puede acceder para hacer algún tipo de inferencia que en esta investigación se la utilizará para estimar los tiempos de escrutinio para la dignidad de presidente. A continuación, en el Gráfico 3 se muestra un ejemplar de estas actas de escrutinio utilizado para la recolección de tiempos.

Gráfico 3.

Actas de escrutinio

ACTA DE ESCRUTINIO
PRESIDENTA/PRESIDENTE Y
VICEPRESIDENTA/VICEPRESIDENTE
ELECCIONES GENERALES 2013
17 DE FEBRERO DE 2013

ACTA No. 53529
CONTROL No. 02105972

PROVINCIA: GUAYAS
CIRCUNSCRIPCIÓN: 1
CANTÓN: GUAYAQUIL

PARROQUIA: FEBRES CORDERO
ZONA: COOP. 23 DE ABRIL
JUNTA N°: 0003 FEMENINO

Página 1 de 4

Siendo las 17 horas 40 minutos, concluye el escrutinio de votos del Proceso de Elecciones Generales 2013.

Llenar los casilleros utilizando el tipo de números, que constan a continuación: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

Fuente: Consejo Nacional Electoral.

2.3. Sistema de transmisión y publicación de resultados

El artículo 217 de la Constitución de la República del Ecuador, en concordancia con lo establecido en el artículo 18 de la Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador, Código de la Democracia, establece que: “La Función Electoral garantizará el ejercicio de los derechos políticos que se expresan a través del sufragio, así como los referentes a la organización política de la ciudadanía. La Función Electoral estará conformada por el Consejo Nacional Electoral y el Tribunal Contencioso Electoral. Ambos Órganos tendrán sede en Quito, jurisdicción nacional, autonomías administrativa, financiera y organizativa, y personalidad jurídica propia. Se regirán por principios de autonomía, independencia, publicidad, transparencia, equidad, interculturalidad, paridad de género, celeridad y probidad”.

De conformidad con lo establecido en el numeral 1 del artículo 25 de la Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador, Código de la Democracia, el Consejo Nacional Electoral tiene la facultad para “Organizar, dirigir, vigilar y garantizar, de manera transparente y eficaz los procesos electorales, convocar a elecciones, realizar los cómputos electorales, proclamar los resultados, y posesionar a quienes resulten electas o electos”.

El artículo 113 de la Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador, Código de la Democracia, determina que “El Consejo Nacional Electoral podrá decidir la utilización de métodos electrónicos de votación y/o escrutinio en forma total o parcial, para las diferentes elecciones previstas en esta ley. En este caso introducirá modificaciones a su normativa, en cuanto fuera necesario, de acuerdo al desarrollo de la tecnología.”

El Consejo Nacional Electoral en cada elección y a través de la expedición del REGLAMENTO

DE INTEGRACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y PUBLICACIÓN DE RESULTADOS “STPR”, define y establece directrices del “STPR”; así como también regula las actividades que desarrollarán los actores del sistema. Es así que el Reglamento No. 000461 (CNE, 2016e) señala en su artículo 4 que el “STPR” es un sistema de gestión para el procesamiento de datos en los escrutinios de actas del proceso electoral a través de la ejecución y manejo de procedimientos, equipos y software. Sus componentes, los cuales se detallan a continuación, corresponden a los siguientes: Recintos de Transmisión y Publicación de Actas (CNE, 2016d); Recintos no considerados para la Transmisión y Publicación de Actas (CNE, 2016c); Centro de Procesamiento de Resultados (CNE, 2016b); Junta regionales, juntas distritales, juntas provinciales, junta especial del exterior, y juntas electorales territoriales (CNE, 2016b; CNE, 2016e).

- a) Recintos de Transmisión y Publicación de Actas (RTPA). - Los recintos que albergan siete o más juntas receptoras del voto y están provistos de conectividad, funcionarán como Recintos de Transmisión y Publicación de Actas, desde donde se escanearán las actas de escrutinio, que luego serán publicadas en la Web y enviadas a los Centros de Procesamiento de Resultados.

Apenas la JRV cuente los votos y llene el acta de escrutinio de cada una de las dignidades a elegirse (presidente, alcalde, asambleístas nacionales, etcétera), el coordinador de mesa luego de recoger los 4 sobres de color diferente por cada dignidad a elegirse y de las cuatro Juntas Receptoras del Voto a su cargo, a continuación se trasladará al punto de escaneo, para esto informará a los delegados de los sujetos políticos acreditados en las JRV para de ser el caso lo puedan acompañar al punto de escaneo. El coordinador de mesa repetirá el procedimiento con las actas de escrutinio de las otras dignidades en contienda en el siguiente orden: dignidades locales

unipersonales, dignidades nacionales unipersonales, dignidades locales pluripersonales y dignidades nacionales pluripersonales. En las circunscripciones del exterior se sigue el mismo procedimiento. En este punto es importante recalcar que la propuesta de este estudio consiste en estimar el tiempo que se demoran en contar los votos las juntas receptoras del voto únicamente enfocándonos en la dignidad de presidente la cual corresponde a una dignidad unipersonal.

Los Recintos de Transmisión y Publicación de Actas constarán con la participación de varios actores entre los que destacan:

- Miembros de las Juntas Receptoras del Voto.
- Coordinadores de mesa.
- Coordinadores de recinto (recinto con más de 30 JRV's).
- Personal para el punto de escaneo (Operador de Escaneo y Asistente de escaneo).
- Responsable del sistema informático.
- Miembros de las Fuerzas Armadas del Ecuador.

Los Recintos de Transmisión y Publicación de Actas, contarán con puntos de escaneo de acuerdo al número de Juntas Receptoras del Voto, y estarán de la siguiente manera:

- De siete a treinta Juntas Receptoras del Voto, se contará con un escáner.
- De treinta a cincuenta Juntas Receptoras del Voto, se contará con dos escáneres.
- De cincuenta a setenta Juntas Receptoras del Voto, se contará con tres escáneres.
- De setenta a noventa Juntas Receptoras del Voto, se contará con cuatro escáneres.
- De noventa y un Juntas Receptoras del Voto en adelante, se contará con cinco escáneres.

Además, los Recintos de Transmisión y Publicación de Actas (RTPA) contarán con actas de escrutinio por cada una de las dignidades en contienda del proceso electoral que se lleve a cabo.

- b) Recintos no considerados para la transmisión y publicación de actas (NO-RTPA). - Son los recintos electorales que no cumplen con el número de juntas receptoras del voto mínimo definido, no poseen conectividad tecnológica, o no cuentan con las seguridades para albergar los equipos informáticos. Las actas de escrutinio de los NO-RTPA a los RTPA más cercanos o en su defecto al Centro de Procesamiento de Resultados (CPR) de la Provincia; para que desde estos, las actas sean escaneadas y mediante mecanismos de sistemas de comunicación serán enviadas al Centro de Datos del Consejo Nacional Electoral, para ser publicadas en la WEB y a continuación serán transmitidas a los Centros de Procesamiento de Resultados (CPR) de las Delegaciones Provinciales del Consejo Nacional Electoral para ser procesadas.

Los recintos que no han sido considerados como Recintos de Transmisión y Publicación de Actas (NO-RTPA) constarán con la participación de los siguientes actores:

- Miembros de las Juntas Receptoras del Voto.
- Coordinadores de Mesa.
- Policía Transportador.
- Miembros de las Fuerzas Armadas del Ecuador.

Además, los Recintos NO-RTPA contarán con actas de escrutinio por cada una de las dignidades en contienda del proceso electoral que se lleve a cabo.

- c) Centro de Procesamiento de Resultados (CPR). - En cada una de las 24 provincias funcionará un Centro de Procesamiento de Resultados a nivel nacional y serán los encargados de procesar las actas de escrutinio preparadas por las juntas receptoras del

voto y transmitida desde los Recintos de Transmisión y Publicación de Actas (RTPA). La composición, distribución y tamaño de esta unidad técnica variará dependiendo del número de actas a procesar.

Los Centros de Procesamiento de Resultados (CPR) constará la participación de:

- Junta Provincial Electoral (Vocales de la JPE).
- Administrador de CPR.
- Equipo Escrutador.
- Delegados de los Sujetos Políticos (acreditados).
- Medios de Comunicación (acreditados).
- Personal para la Presentación de Resultados.
- Personal para la Recepción de Actas (RTPA, No-RTPA, Rezagadas).
- Punto de Escaneo (Operador de Escaneo para Actas Rezadas, No-RTPA).
- Equipo de Digitadores.
- Equipo de Control de Calidad.
- Equipo de Revisores de Firmas.
- Equipo de apoyo técnico Informático.
- Responsable de Logística.
- Responsable de Archivo; y
- Personal de Apoyo.

A continuación, se presentan los procedimientos dentro del CPR y que ayudarán a comprender las etapas del proceso de escrutinio representadas en el Gráfico 1 con lo cual se podrá destacar la importancia del escrutinio de votos en las JRV's pues es el evento disparador para la activación de las etapas posteriores.

DIGITACIÓN

En cada CPR provincial se instala un equipo de digitadores los cuales están encargados de ingresar los valores de todos los cortes de cada acta. Para esta etapa, se debe considerar que todas las actas son digitadas, pero existirá un porcentaje que presente algún tipo de inconsistencia al momento de la digitación lo cual desemboca en dos consecuencias: 1) las actas que no presentan inconsistencia en la digitación pasan directamente a la etapa de revisión de firmas y 2) las actas que presentan algún tipo de inconsistencia en la digitación pasan a la etapa de control de calidad.

CONTROL DE CALIDAD

En cada centro de procesamiento provincial también se instalará un equipo de digitadores de control de calidad los cuales están encargados de ingresar los valores de todos los cortes de las actas que presentaron algún tipo de inconsistencia en la etapa de digitación. Una vez que el acta ha sido ingresada correctamente, el acta pasa a la etapa final de revisión de firmas, pero se debe aclarar que el acta puede presentar problemas de legibilidad o algún otro problema que puede causar que el acta no avance a la etapa de revisión de firmas, en cuyo caso estas actas pasarán a un tratamiento especial.

REVISIÓN DE FIRMAS

Finalmente la etapa que cierra el ciclo de flujo de las actas de escrutinio corresponde a la etapa de revisión de firmas, misma que estará constituida por un equipo de digitadores de revisión de firmas ubicados en los CPR provinciales y serán los encargados de ingresar si el acta contiene o no las firmas correspondientes a las del Presidente o del Secretario de la Junta Receptora del Voto, en cuyo caso se validará el resultado del acta y pasará a formar parte de la totalización de los resultados preliminares, es decir el equipo de revisores de firmas validará que la imagen del acta de escrutinio posee por lo menos una firma: del presidente o del secretario de la Junta Receptora del Voto y se

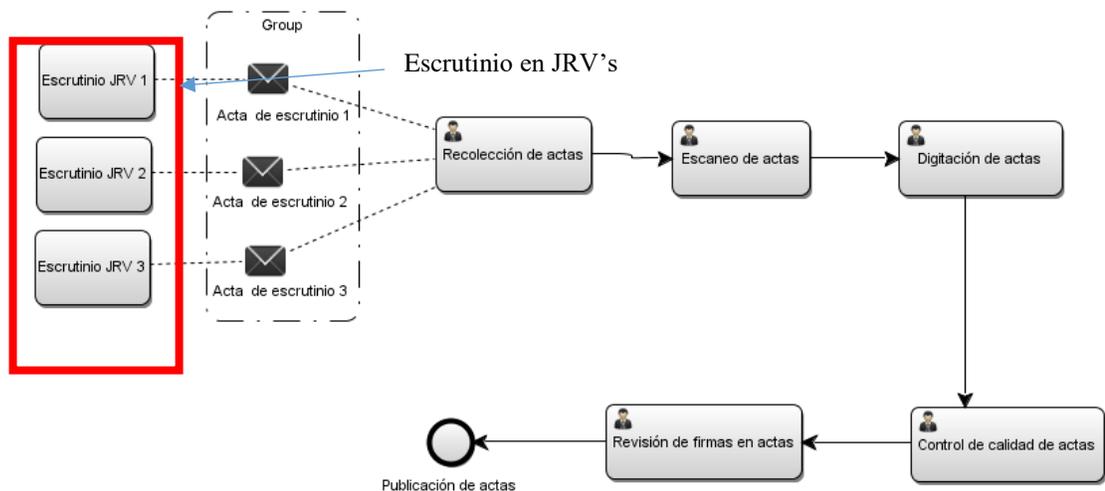
reconocerán como “actas válidas” y si el acta de escrutinio no posee por lo menos una firma pasará al “proceso de recuento”.

- d) Juntas regionales, juntas distritales, juntas provinciales, junta especial del exterior, y juntas electorales territoriales. - Es el organismo electoral desconcentrado que tiene jurisdicción regional, distrital, provincial, especial en el exterior y local, de carácter temporal, encargado de realizar el escrutinio y proclamar los resultados electorales de su jurisdicción. Este organismo electoral funcionará en el mismo local que el Centro de Procesamiento de Resultados y Centro de Publicación de Resultados.

En resumen, con el proceso detallado anteriormente se puede inferir sobre cómo estaría constituido el proceso de escrutinio de actas: escrutinio en juntas receptoras del voto, recolección de actas, escaneo de actas, digitación, control de calidad, revisión de firmas y presentación de resultados.

Gráfico 4.

Escrutinio en juntas receptoras del voto



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el Gráfico 4, la etapa de escrutinio de actas en las JRV's analizada en esta investigación juega un rol esencial a la hora de determinar el tiempo de duración hasta la publicación de actas a la ciudadanía ya que después de este punto el proceso se encuentra automatizado. Es así que en este estudio se evalúa el tiempo requerido para la etapa de escrutinio de votos en las juntas receptoras del voto para procesos electorales presidenciales (dignidad unipersonal) a través del modelado mediante una distribución Weibull de 3 parámetros debido a que se ajusta de mejor manera a datos de tiempos, permite datos únicamente positivos (mayores que cero) y tiene un umbral mínimo positivo (McCombs et al., 2009). Adicionalmente, se puede señalar que la importancia de esta investigación radica en la necesidad que tienen los organismos electorales de difundir resultados preliminares de algún proceso eleccionario en el momento oportuno, pues permite tener una mejor idea de cómo se está desarrollando un proceso electoral y junto a la facilidad de uso del modelo Weibull presentado beneficia tanto a practicantes como investigadores.

2.4. Metodología de estimación de tiempos de proyectos PERT

El método PERT que significa Programm Evaluation and Review Technic nació en los EE.UU. como una herramienta para planificar la construcción del submarino Polaris (Poggioli, 1976). Poggioli (1976) sostiene que la aplicación del método PERT se ha extendido a otros terrenos y actualmente es un método que consiste en ordenar, bajo la forma de red, varias tareas o actividades que, gracias a su dependencia y cronología, concurren todas ellas a la obtención de un producto acabado. Adicionalmente, Poggioli afirma que actualmente el método PERT es muy conocido y de amplia aplicación iniciando con el proyecto Polaris e incluida la precisión con la que la NASA construye. La duración en la ejecución de las distintas actividades es un elemento central en la obtención de tal producto acabado por lo que a continuación profundizamos en el estudio del método PERT.

Muñoz (1976) afirma que “el método PERT, en sus distintas manifestaciones y aplicaciones, pretende optimizar, desde el punto de vista económico, la ejecución de un proyecto. El análisis que este método realiza revela la existencia de un camino crítico, cuya duración condiciona la ejecución de todo el proyecto”. Además, Muñoz destaca que el método PERT tiene como finalidad tres aspectos importantes que corresponden a los siguientes:

- Tiempo: se refiere a que este método da a conocer el tiempo de ejecución del proyecto así como de todas las actividades que la componen.
- Costo: se refiere a que el método optimiza tanto la ejecución del proyecto y el empleo de los medios disponibles. Adicionalmente, este método incluye criterios para la incorporación de nuevos recursos.
- Control: se refiere al control de la ejecución del proyecto.

Podemos ver que el método PERT puede proporcionar información referente a la duración de un proyecto por cuanto expone la ruta o camino crítico que corresponden a las actividades a través de un camino de longitud máxima que van desde el evento de inicio del proyecto hasta el evento de fin del proyecto. El retraso en las actividades del camino crítico ocasionará una demora en la finalización del proyecto por lo que para lograr que la ejecución del proyecto se realice en el menor tiempo posible, las actividades del camino crítico deben realizarse pronto.

Cottrell (1999) afirma que el método PERT consiste en 5 pasos: 1) diagramar la red del proyecto, 2) obtener estimaciones de tiempo para cada tarea, 3) calcular el valor esperado y varianza de la duración de cada actividad en la red del proyecto, 4) ordenar las actividades secuencialmente y 5) realizar pasos hacia adelante y hacia atrás de la red para identificar la ruta crítica. A continuación, se presenta una breve descripción de los pasos 1, 2 y 3 que son

de interés para este estudio y permitirá lograr un mayor entendimiento y mejor apreciación de las fortalezas del modelo Weibull propuesto.

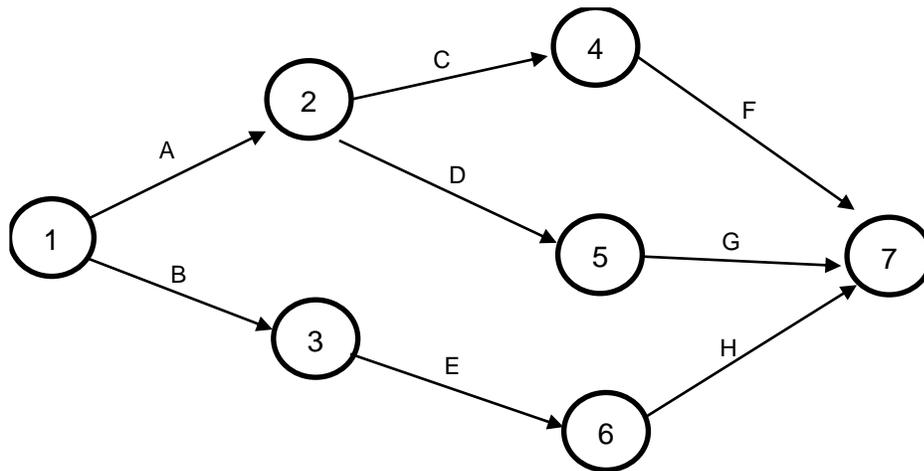
El paso 1 de diagramación de la red define la estructura del proyecto a través de la representación gráfica del plan de un proyecto (Gráfico 5) para lo cual se utiliza flechas para las actividades y círculos para los acontecimientos o situaciones lo cual indica además sus relaciones de dependencia y condicionamientos entre las mismas (Muñoz, 1976).

En el paso 2, Cottrell (1999) y Taha (2012) sostienen que el método PERT original considera tres estimaciones de tiempo distintas para la duración de las actividades:

- Estimación optimista (t_o): corresponde a la mínima duración de una actividad y ocurre cuando la actividad transcurre extremadamente bien.
- Estimación más probable (t_r): es la duración de una actividad en condiciones óptimas. La estimación más probable está en el intervalo (t_o, t_p).

Gráfico 5.

Red PERT



Fuente: Elaboración propia.

- Estimación pesimista (t_p): corresponde a la máxima duración de una actividad y ocurre cuando la actividad transcurre extremadamente deficiente.

Muñoz (1976) sostiene que la duración de cada una de las actividades determinadas según el método tradicional PERT se modela con una distribución beta (distribución que es usada para las estimaciones de t_o , t_n y t_p). Taha (2012) afirma que basado en estas 3 últimas estimaciones, el paso 3 del método PERT para aproximar el tiempo de duración promedio, t_E , y varianza, v , se obtiene como sigue:

$$t_E = \frac{t_o + 4t_n + t_p}{6}$$

$$v = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2$$

Cabe resaltar que “una distribución beta no puede darse siempre” (Muñoz, 1976, p. 31), y “no es el mejor modelo para todas las operaciones de construcción” (McCombs et al., 2009, p. 284). Por lo que varios autores tales como Martín y García (2007), McCombs et al. (2009) y Muñoz (1976) concluyen que distribuciones tales como la cúbica, la bi-seno, la normal, la triangular o la Weibull son candidatas adecuadas como distribuciones subyacentes de la metodología PERT.

2.5. Distribución Weibull como alternativa a la metodología PERT

Cottrell (1999) manifiesta que han aparecido en la literatura varias críticas y propuestas de modificaciones a la metodología PERT desde principios de los años 60. A continuación se procede a exponer algunas de los problemas reconocidos con PERT y posteriormente se fundamenta por qué utilizar el modelo Weibull sobre el modelo beta.

Problemas con PERT

- Las probabilidades subyacentes a PERT pueden ser críticas al tomar decisiones financieras acerca de la viabilidad de un proyecto (Callahan et al., 1992). Además, una

de las mayores debilidades es que requiere múltiples estimaciones de tiempo (Mc Combs et al., 2009).

- La media y varianza calculadas de la duración de la actividad específica son estimaciones de la media y varianza reales (Mc Combs et al., 2009).
- Se supone que la distribución beta proporciona un modelo adecuado para la duración de actividades (Mc Combs et al., 2009).
- El modelo beta representa un modelo rígido y con una adaptación no perfecta a las estimaciones subjetivas de la actividad en estudio (Pleguezuelo y Rodriguez, 1991).
- Las tres estimaciones de tiempo del método PERT original definidos por el experto (tiempo optimista, tiempo pesimista, y tiempo más probable) no necesariamente concuerdan con las propiedades de una distribución beta (Gladysz, 2017).

Adicionalmente, Muñoz (1976) manifiesta que una de las limitantes a la metodología tradicional PERT es la exigencia de datos a las organizaciones empresariales pero que no siempre se dispone o cuesta disponer de los mismos.

En relación al presente tema de investigación relacionado a la medición del tiempo de escrutinio en las JRV, se puede apreciar los desafíos que representan la estimación de tales tiempos bajo el modelo tradicional PERT porque al tratar de estimar tiempos de escrutinio de procesos presidenciales futuros, existe escasa información disponible que se pueda usar como una muestra para ajustar la distribución beta. Por tanto, para esta investigación, como en el caso del modelo tradicional PERT, se usan estimaciones de tiempo obtenidas a través del conocimiento subjetivo (opinión de un experto) de la actividad en estudio lo que a su vez permitiría la obtención de una herramienta flexible a partir de la cual se pueden realizar pronósticos.

Por qué utilizar Weibull

En lo referente a la distribución a utilizar para el modelado de tiempos subyacentes a PERT, Mc Combs et al. (2009) argumentan que existen varias propuestas entre las que destacan:

- Distribución Beta: entre las ventajas destacan que es continua, tiene puntos finales finitos, tiene una moda definida entre sus puntos principales. Entre sus desventajas incluyen el hecho que no permiten acomodar colas de probabilidad muy grandes y requieren de múltiples estimaciones de tiempo.
- Distribución Weibull: entre las ventajas destacan que no requieren aproximaciones para la media y varianza como lo hace la distribución beta, puede acomodar colas de probabilidad a la derecha más largas que con la distribución beta, tiene una moda definida entre sus puntos principales, es capaz de describir distribuciones de tiempo de actividades tanto sesgadas como simétricas y únicamente son necesarias dos estimaciones de percentiles y la estimación de la moda para calcular los parámetros de la distribución Weibull presentada más adelante.

Gladysz (2017) sostiene que al usar PERT clásico se asume que la duración de tareas se puede aproximar usando una distribución beta. Pleguezuelo y Rodriguez (1991), por su parte, afirman que los creadores de PERT sugirieron estimar la media y varianza de la distribución beta fundamentados en razones eminentemente prácticas y por un acuerdo generalizado de que la distribución beta es un buen modelo para la distribución de una variable aleatoria representando la duración de una actividad debido a que esta familia de distribuciones (de entre las que se desprende la distribución Weibull) puede adoptar una amplia variedad de formas, con distintas asimetrías y curtosis. Desde la perspectiva de Pleguezuelo y Rodriguez (1991) este acuerdo “se refuerza aún más, si cabe, cuando la asimetría es un factor importante en el problema bajo consideración” (p. 19). En este sentido, Mc Combs et al. (2009) utilizan la distribución Weibull para la estimación del tiempo de viaje de un camión y sus resultados convergen a los resultados que se hubiesen obtenido a través de un modelo beta. Más aún,

Abdelkader (2004) analiza el tiempo de duración de tareas usando métodos basados en la distribución Weibull y obtiene estimaciones precisas del tiempo en comparación de otras estimaciones de distribuciones.

Por tanto, fundamentados en lo encontrado en la literatura y lo expuesto sobre las diversas distribuciones adoptadas subyacentes a PERT, se procede en esta investigación con la adopción de la distribución Weibull para el modelado de los tiempos requeridos para la etapa de escrutinio de votos en las JRV's.

Distribución de Probabilidad Weibull

La distribución Weibull se conoce así gracias al profesor Waloddi Weibull cuya investigación condujo al amplio uso de la distribución. Él demostró que la distribución Weibull se ajusta y da buenos resultados con muchos conjuntos de datos diferentes, incluso para pequeñas muestras. Desde entonces esta distribución ha tenido diversas aplicaciones en muchas áreas que se pueden encontrar, por ejemplo, en Johnson et al. (1994) quienes muestran una revisión de las aplicaciones del modelo Weibull en modelos de tiempos de vida, ciencias de la salud, análisis de la velocidad del viento, análisis de las precipitaciones e inundaciones, entre muchas otras aplicaciones; o en Kalbfleisch (2012) que afirma que la distribución Weibull se ha utilizado como modelo en estudios de confiabilidad de rodamientos, engranajes y componentes de aeronaves.

Mc Combs et al. (2009) presenta las fórmulas de la función de densidad de probabilidad, confiabilidad, moda, varianza y media de la distribución Weibull a través de las 5 ecuaciones, respectivamente, indicadas a continuación:

$$f(x) = (\beta/\theta)(x/\theta)^{\beta-1}\exp[-(x/\theta)^\beta] \quad (1)$$

$$R(x) = \exp[-(x/\theta)^\beta] \quad (2)$$

$$M = moda = \theta(1 - 1/\beta)^{1/\beta} \text{ para } \beta > 1 \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \theta^2\{\Gamma(1 + 2/\beta) - [\Gamma(1 + 1/\beta)]^2\} \quad (4)$$

$$\mu = media = x_0 + \theta\Gamma(1 + 1/\beta) \quad (5)$$

donde β es el parámetro de forma, θ es el parámetro de escala, Γ es la función gama, y x_0 el desplazamiento de la media en el eje x.

El objetivo de este estudio es modelar el tiempo requerido para la etapa de escrutinio de votos en las JRV's a través del modelo Weibull descrito por la ecuación (1). Para calcular los dos parámetros (forma y escala) desconocidos de la distribución Weibull se hace uso de 3 estimaciones: dos estimaciones de percentiles y la estimación de la moda. Estas 3 últimas estimaciones pueden ser obtenidas a través de la experiencia de un experto conforme lo indica la metodología PERT, pero para conseguir resultados más precisos serán obtenidas a partir de una muestra con lo que posteriormente conseguida la caracterización de la distribución se procederá a generar la simulación de tiempos de fin de escrutinio de la población que permitirán conocer el tiempo total que dura el escrutinio en las JRV's.

Johnson et al. (1994) sostiene que han existido varias investigaciones a los largo de los años tratando con métodos de inferencia aproximada o exacta para el parámetro de forma β y el parámetro de escala θ necesarios para conseguir caracterizar la distribución Weibull de dos parámetros presentada en la ecuación (1). En lo que resta de este capítulo seguiremos el enfoque abordado por Mc Combs et al. (2009).

Obtención de parámetros de la distribución de Probabilidad Weibull

Sea x_a , x_b y M definidas como sigue:

- a) x_a : estimación del percentil inferior a juicio del experto.
- b) x_b : estimación del percentil superior a juicio del experto.
- c) M: estimación más probable o de la moda a juicio del experto.

La confiabilidad (ecuación (2)) puede ser reescrita en términos de x_a y x_b conduciendo a las siguientes expresiones:

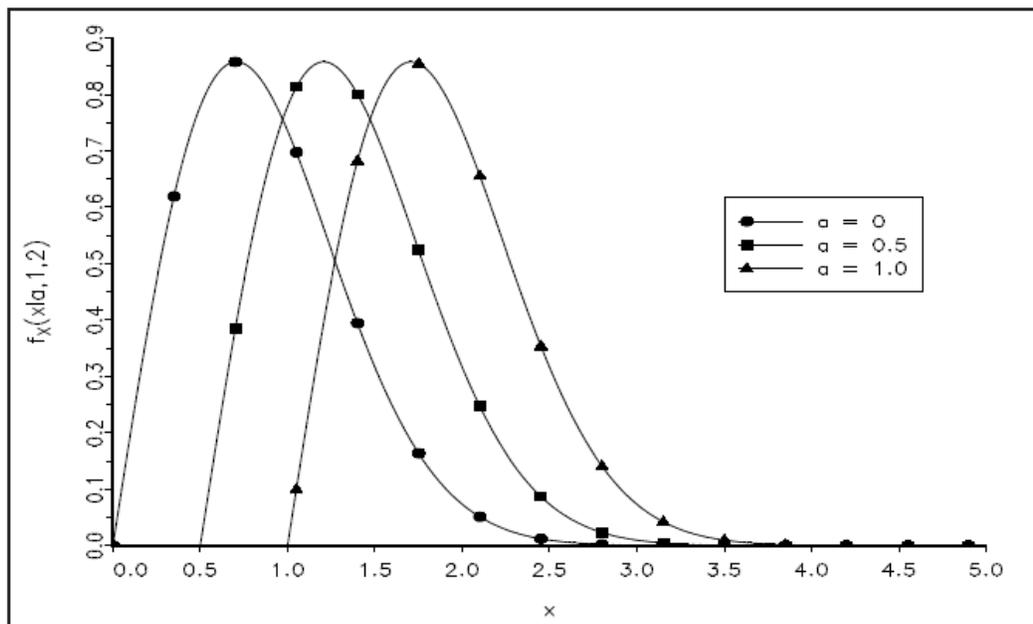
$$x_a = \theta[\ln(1/R(x_a))]^{1/\beta} \quad (6)$$

$$x_b = \theta[\ln(1/R(x_b))]^{1/\beta} \quad (7)$$

Rinne (2008) muestra la forma tradicional de la distribución Weibull (Gráfico 6, 7 y 8) y concluye que esta tiene límites definidos izquierdo y derecho de cero e infinito respectivamente.

Gráfico 6.

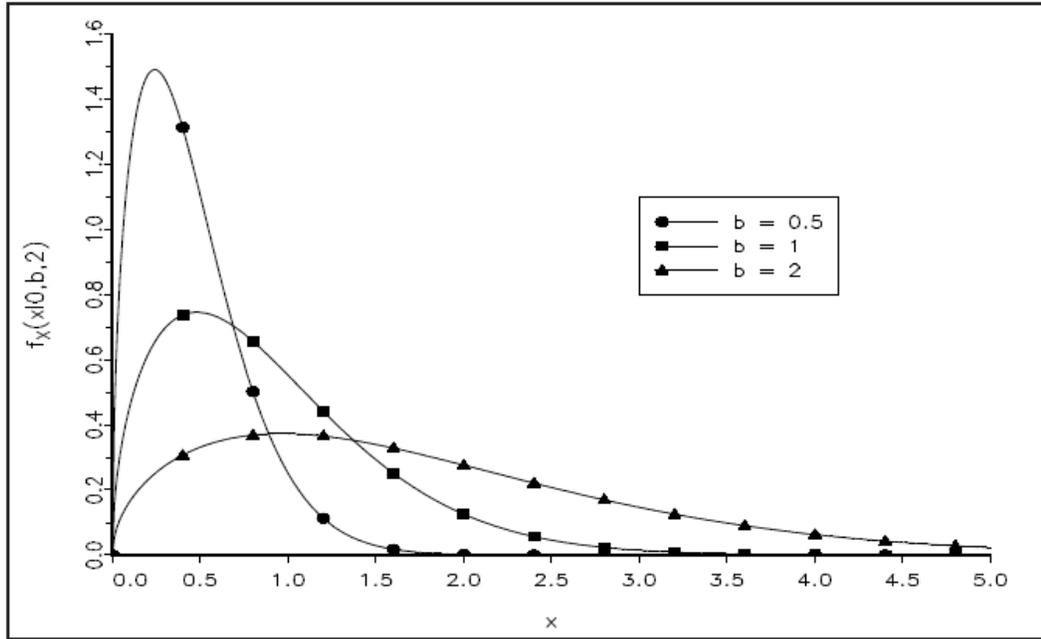
Densidades de la Distribución Weibull con diferentes valores del parámetro de localización



Fuente: Rinne (2008).

Gráfico 7.

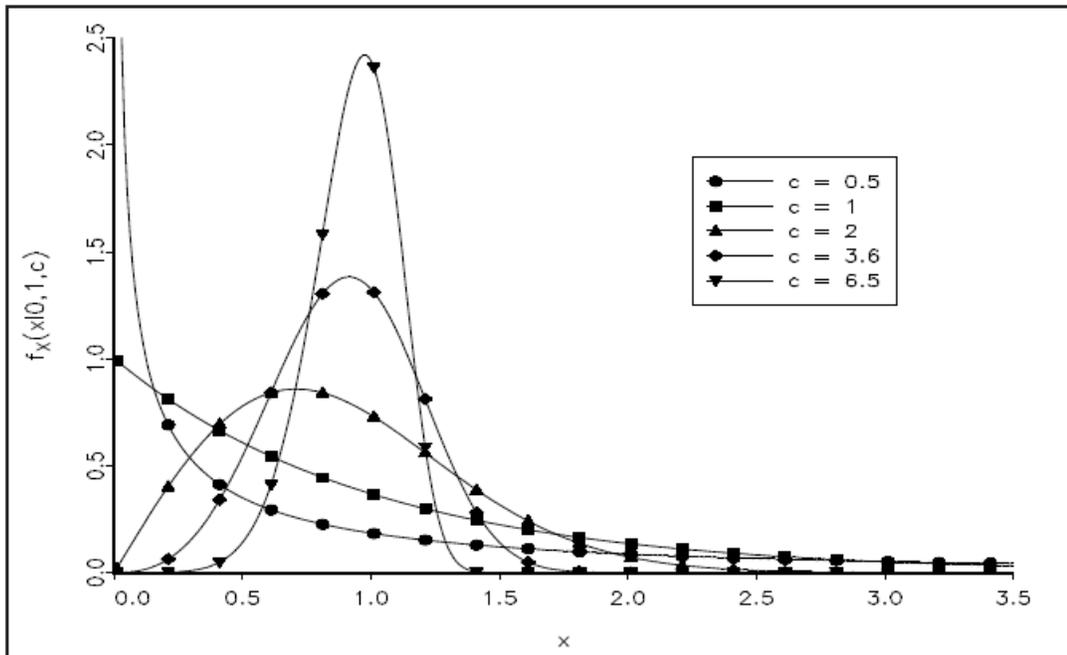
Densidades de la Distribución Weibull con diferentes valores del parámetro de escala



Fuente: Rinne (2008).

Gráfico 8.

Densidad de la distribución Weibull con diferentes valores del parámetro de forma



Fuente: Rinne (2008).

Como un resultado, únicamente dos de las tres estimaciones a), b) o c) son requeridas para
30

calcular los parámetros de la distribución. Consideremos los siguientes casos para estimar los parámetros de la distribución Weibull de dos parámetros propuestos por Mc Combs et al. (2009):

Caso 1: Sean x_a y x_b conocidos, así como sus respectivos percentiles.

En este caso, a partir de la premisa dada y partiendo de la ecuación (6) y (7) se puede calcular el parámetro de forma β únicamente al dividir estas dos últimas ecuaciones y despejando para β :

$$\frac{x_a}{x_b} = \frac{\theta[\ln(1/R(x_a))]^{1/\beta}}{\theta[\ln(1/R(x_b))]^{1/\beta}}$$

esto implica que

$$\frac{x_a}{x_b} = \left(\frac{\ln(R(x_a))}{\ln(R(x_b))} \right)^{1/\beta} \quad (8)$$

Simplificando y resolviendo para β llegamos a la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{\ln[\ln(R(x_a))/\ln(R(x_b))]}{\ln(x_a/x_b)}$$

Con β calculado podemos usarlo y remplazarlo en la ecuación (6) o (7) para poder obtener el parámetro de escala y con lo cual estaría completamente determinada la distribución Weibull.

Caso 2: Sean x_a o x_b y M conocidos.

Partiendo de las ecuaciones (3) y (6) o (7) precedentes, podemos obtener el parámetro de forma β como se indica en la ecuación (9) a continuación:

$$\frac{M}{x_b} = \frac{\theta(1 - 1/\beta)^{1/\beta}}{\theta[\ln(1/R(x_b))]^{1/\beta}}$$

esto implica que

$$\frac{M}{x_b} = \left(\frac{(1 - 1/\beta)}{\ln(1/R(x_b))} \right)^{1/\beta} \quad (9)$$

o lo que es lo mismo

$$\left(\frac{x_b}{M} \right)^\beta \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right) = \ln(R(x_b))$$

Finalmente, al usar la ecuación (6) se puede obtener el parámetro de escala θ como se indica en la ecuación (10) a continuación:

$$\theta = M/(1 - 1/\beta)^{1/\beta} \quad (10)$$

Mc Combs et al. (2009) apuntan que existen ventajas adicionales al usar la distribución Weibull señalando que “un usuario ahora no solo puede usar percentiles distintos de los percentiles 5 y 95 con la misma precisión, sino que no es necesario que los percentiles sean simétricos; es decir, se podrían utilizar los percentiles 5 y 90” (p. 285).

A continuación se presenta la caracterización de la distribución de probabilidad Weibull desplazada siguiendo el enfoque propuesto por Mc Combs et al. (2009).

Distribución de Probabilidad Weibull Desplazada

La situación de una distribución de probabilidad Weibull desplazada se presenta cuando existe una probabilidad de cero de que ocurra un evento antes de un cierto umbral de tiempo. En tal caso, la distribución Weibull incluye un valor umbral, x_0 , y queda determinada de la siguiente forma (Mc Combs et al., 2009):

$$f(x - x_0) = (\beta/\theta)(x - x_0/\theta)^{\beta-1} \exp[-((x - x_0)/\theta)^\beta] \quad (11)$$

$$R(x - x_0) = \exp[-((x - x_0)/\theta)^\beta] \quad (12)$$

$$M = x_0 + \theta(1 - 1/\beta)^{1/\beta}, \beta > 1 \quad (13)$$

$$x = x_0 + \theta[\ln(1/R(x))]^{1/\beta} \quad (14)$$

Cabe resaltar que la adición de este valor umbral a la distribución Weibull no cambia ni su varianza ni su forma base y únicamente su localización sobre el eje x se ve afectada. Sin embargo, debido a que ya no se conoce el límite izquierdo de la distribución y a que se introdujo un parámetro adicional, es necesario incorporar información adicional para poder caracterizar la distribución Weibull desplazada. Por tanto, considerando las ecuaciones (13) y (14) y reemplazando en la relación $\frac{M - x_A}{x_B - x_A}$ se obtiene lo siguiente:

$$\frac{M - x_A}{x_B - x_A} = \frac{x_0 + \theta(1 - 1/\beta)^{1/\beta} - \{x_0 + \theta[\ln(1/R(x_a))]^{1/\beta}\}}{x_0 + \theta[\ln(1/R(x_b))]^{1/\beta} - \{x_0 + \theta[\ln(1/R(x_a))]^{1/\beta}\}} \quad (15)$$

Note que en la ecuación precedente se cancelan los términos x_0 y θ con lo cual obtenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{M - x_A}{x_B - x_A} = \frac{(1 - 1/\beta)^{1/\beta} - [\ln(1/R(x_a))]^{1/\beta}}{[\ln(1/R(x_b))]^{1/\beta} - [\ln(1/R(x_a))]^{1/\beta}} \quad (16)$$

En consecuencia, la ecuación (16) permite calcular el parámetro de forma β usando un programa de optimización tal como la función Solver® de Microsoft Excel.

Por otro lado, para obtener el parámetro de escala θ a partir de la ecuación (13) existe el inconveniente de que el valor umbral es desconocido y por tanto no se puede calcular como en la ecuación (10) precedente. Sin embargo, considerando la ecuación de la varianza para la obtención del parámetro de escala θ :

$$\sigma^2 = \theta^2\{\Gamma(1 + 2/\beta) - [\Gamma(1 + 1/\beta)]^2\},$$

se puede partir calculando la constante K de la varianza y posteriormente usarse para calcular la varianza en sí. En efecto, al poner el parámetro de escala θ (temporal) igual a 1 y al usar el parámetro de forma β calculado en la ecuación (16), se procede al cálculo de la varianza temporal expresada de la siguiente manera:

$$\sigma_{temp}^2 = \theta_{temp}^2 \{ \Gamma(1 + 2/\beta) - [\Gamma(1 + 1/\beta)]^2 \} \quad (17)$$

A continuación, usando las ecuaciones (6) y (7) se calculan los valores necesarios temporales del eje x para los percentiles inferiores, $x_{a\ temp}$, y superiores, $x_{b\ temp}$. Consecuentemente, la constante K de la varianza se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{x_{b\ temp} - x_{a\ temp}}{\sigma_{temp}} \quad (18)$$

Luego, con K conocido, la varianza basada en los datos reales se puede calcular de la siguiente manera:

$$\sigma^2 = ((x_b - x_a)/K)^2 \quad (19)$$

Entonces, el parámetro de escala θ real se puede calcular a partir de la ecuación de la varianza quedando expresada como sigue:

$$\theta = \sqrt{\sigma^2 / \{ \Gamma(1 + 2/\beta) - [\Gamma(1 + 1/\beta)]^2 \}} \quad (20)$$

Finalmente, con β y θ conocidos resta por calcular el valor umbral para conseguir caracterizar la distribución Weibull desplazada. Así, considerando la ecuación (13) para la moda:

$$M = x_0 + \theta(1 - 1/\beta)^{1/\beta}$$

despejando para x_0 obtenemos:

$$x_0 = M - \theta(1 - 1/\beta)^{1/\beta} \quad (21)$$

En consecuencia, la distribución Weibull desplazada está completamente caracterizada.

2.6. Algoritmo Computacional

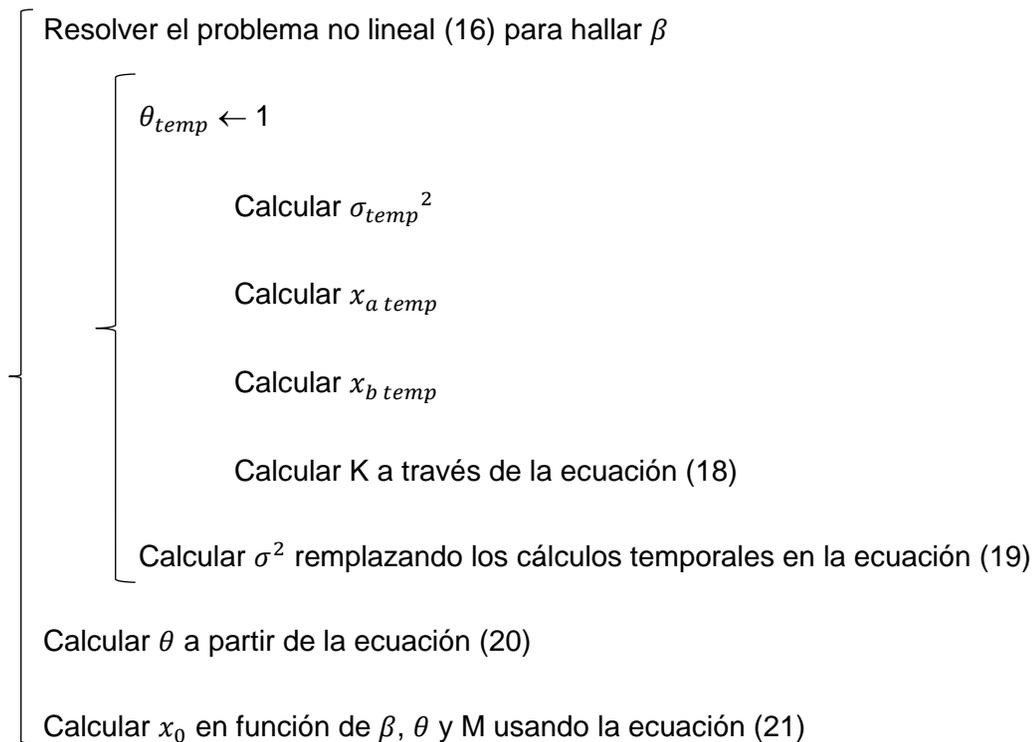
En esta última sección se presenta el pseudocódigo y algoritmo de la metodología presentada para la distribución Weibull.

Pseudocódigo

Entrada moda (M), estimación del percentil inferior x_a , valor del percentil inferior p_a , estimación del percentil superior x_b , valor del percentil superior p_b

$$R(x_a) \leftarrow 1 - F(x_a) = 1 - p_a$$

$$R(x_b) \leftarrow 1 - F(x_b) = 1 - p_b$$



Algoritmo

ENTRADAS:

M (estimación del valor de la moda obtenida a juicio de un experto)

p_a (valor del percentil inferior)

x_a (estimación del percentil inferior obtenida a juicio de un experto)

p_b (valor del percentil superior)

x_b (estimación del percentil superior obtenida a juicio de un experto)

PASOS:

$$R(x_a) \leftarrow 1 - p_a$$

$$R(x_b) \leftarrow 1 - p_b$$

$$f(\beta) \leftarrow \frac{(1-1/\beta)^{1/\beta} - [\ln(1/R(x_a))]^{1/\beta}}{[\ln(1/R(x_b))]^{1/\beta} - [\ln(1/R(x_a))]^{1/\beta}} - \frac{M - x_A}{x_B - x_A} \text{ (función para obtener } \beta \text{)}$$

$$\beta \leftarrow f(\beta)=0 \text{ (obtengo el parámetro de forma como un cero de } f(\beta)\text{)}$$

$$\theta_{temp} \leftarrow 1 \text{ (parámetro de escala temporal)}$$

$$\sigma_{temp}^2 \leftarrow \theta_{temp}^2 \{ \Gamma(1 + 2/\beta) - [\Gamma(1 + 1/\beta)]^2 \} \text{ (cálculo de la varianza temporal)}$$

$$x_{a\ temp} \leftarrow \theta_{temp} [\ln(1/R(x_a))]^{1/\beta} \text{ (cálculo del percentil inferior temporal)}$$

$$x_{b\ temp} \leftarrow \theta_{temp} [\ln(1/R(x_b))]^{1/\beta} \text{ (cálculo del percentil superior temporal)}$$

$$K \leftarrow \frac{x_{b\ temp} - x_{a\ temp}}{\sigma_{temp}} \text{ (cálculo de la constante de la varianza)}$$

$$\sigma^2 \leftarrow ((x_b - x_a)/K)^2 \text{ (cálculo de la varianza real)}$$

$$\theta \leftarrow \sqrt{\sigma^2 / \{ \Gamma(1 + 2/\beta) - [\Gamma(1 + 1/\beta)]^2 \}} \text{ (obtengo el parámetro de escala real)}$$

$$x_0 \leftarrow M - \theta(1 - 1/\beta)^{1/\beta} \text{ (obtengo el valor umbral o desplazamiento)}$$

SALIDA:

Parámetros de la distribución Weibull: β , θ , x_0

Para mostrar la solución gráfica se debe ejecutar el algoritmo computacional precedente ingresando las entradas indicadas con lo cual se obtendrán los parámetros y tiempos de

duración según la distribución Weibull y con ayuda de la función `comparativo_densidades` (Anexo 1) se obtendrá el gráfico de densidades de los tiempos de escrutinio en JRV's permitiendo conocer la forma de la distribución de los tiempos de escrutinio para una elección presidencial. Además, la función `comparativo_avances` (Anexo 2) permite obtener la curva de avance del escrutinio en JRV's con lo cual se puede conocer cuál es el porcentaje de actas que se han escrutado hasta una determinada hora del día.

3. METODOLOGÍA

El estudio que se propone es de carácter descriptivo-evaluativo utilizando diferentes metodologías y técnicas de recolección de información cualitativa y cuantitativa.

La metodología de esta investigación se basó en la investigación bibliográfica y la recolección de una muestra de actas de escrutinio a fin de conocer y contrastar el modelo matemático presentado en esta investigación.

3.1. Enfoque

Esta investigación es cuantitativa. Es de tipo cuantitativo debido a que “se fundamenta en la medición de las características de los fenómenos sociales, lo cual supone derivar de un marco conceptual pertinente al problema analizado, una serie de postulados que expresen relaciones entre las variables estudiadas de forma deductiva” (Bernal, 2010, p. 60). Para la recolección de datos se emplea técnicas de muestreo y técnicas para el análisis de datos. Además, se obtienen datos numéricos a través de simulaciones que permiten realizar un análisis cuantitativo que para efectos de esta investigación resulta en conocer cuál es el tiempo que se espera dure el escrutinio de votos en las JRV's para elecciones presidenciales.

3.2. Tipo de investigación

Esta investigación tiene un alcance de tipo descriptivo debido a que “describe la realidad objeto de estudio, con el fin de esclarecer una verdad, corroborar un enunciado o comprobar una hipótesis” (Rojas, 2011, p. 34). En este estudio, se hizo una descripción de los procesos electorales presidenciales, sus particularidades y necesidades subyacente hasta la

presentación de un modelo que nos permitirá modelar el tiempo de duración del escrutinio de votos en JRV's para procesos electorales presidenciales.

3.3. Diseño de la investigación

Esta investigación tiene un diseño documental y experimental.

Por una parte, es de diseño documental, debido a que “es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios...” (Arias, 2012, p. 27). Para esta investigación se aplicó investigación bibliográfica en fuentes primarias y secundarias referentes a la teoría de estimación de tiempos de duración de tareas y procedimientos de operaciones en el ámbito electoral.

Por otra parte, tenemos una investigación de tipo experimental, pues a través de la simulación numérica se influirá directamente en la variable que se va a analizar para comprobar si el tiempo de escrutinio en JRV's puede ser estimado con una distribución de probabilidad Weibull. En esta investigación se presentó un modelo matemático que permite simular tiempos de escrutinio para procesos electorales presidenciales que permiten estimar el tiempo que dura el escrutinio en las JRV's.

3.4. Técnica de recolección de información

La técnica empleada consistió en el análisis de documentos y la observación directa a una muestra para obtener los tiempos de escrutinio de una muestra de actas publicados en la página web del Consejo Nacional Electoral. El muestreo de actas aplicado fue aleatorio simple para la elección presidencial del año 2013, elección de la que se obtuvieron un total de 415 actas que corresponde a una muestra del 1,04% de la población.

3.5. Población y Muestra

3.5.1. Población

La población de estudio para esta investigación corresponde a todas las actas de escrutinio de una elección presidencial las cuales para el año 2013 ascienden a 39.761 actas a nivel nacional (solo el territorio ecuatoriano) y de las que se desea estimar el tiempo total de escrutinio. Este número fue tomado de acuerdo al total de juntas receptoras del voto (un acta por cada JRV) que se conformaron para la elección presidencial de ese año.

3.5.2. Muestra

En esta investigación se usó una muestra probabilística de tipo aleatoria simple debido a que cumplen con el principio de aleatoriedad y por lo tanto representativas de la población total. La muestra de actas se extrajo a través de la consulta desde la página web del CNE cuyos códigos fueron previamente elegidas al azar, una por una, de entre toda la población.

Bernal (2010) señala que el proceso para estimar el tamaño de la muestra por muestreo aleatorio simple (m.a.s) consiste en identificar si se trata de una población finita o infinita, nivel sospechado de homogeneidad de la población, nivel de confianza y error. En esta investigación se aplica un m.a.s con población finita debido a que se conoce el número total de la población, se asume un supuesto conservador de que la población es heterogénea y para los restantes parámetros se sigue las recomendaciones propuestas por Bernal (2010), es decir, niveles de confianza iguales o superiores a 90% y error de estimación menor o igual a 10%.

En esta investigación se obtuvo una muestra final de 415 actas aleatorias con un 95% de

confianza y un 4.8% de error, lo que se considera como muestra representativa aportando así un grado aceptable de confianza en el análisis de los resultados. En este caso, se tomó un error de estimación pequeño en base a la recomendación de la literatura que sostienen que cuando la población tiende a ser heterogénea, “el valor que se asigne al error de estimación se sugiere que debe ser pequeño, en lo posible menor que 5%” (Bernal, 2010, p. 167). En esta investigación se espera una muestra aleatoria de tiempos obtenidos a través del muestreo de actas de escrutinio que ayuden a estimar el tiempo que dura el escrutinio en las JRV's.

3.5.3. Temporalidad

Esta investigación se ubicará en un contexto histórico, dentro de un espacio de tiempo determinado: elecciones presidenciales del año 2013, dirigido a reconstruir hechos pasados por lo cual se trata de un “diseño histórico” (Hurtado, 2012, p. 156).

3.5.4. Foco

El estudio contará con una variable (el tiempo), para diferentes usos (duración del escrutinio y contraste del modelo) que converge a un modelo matemático que permita simular tiempos de escrutinio para procesos de elecciones presidenciales. En este sentido, se trata de un enfoque centrado en un evento único; es decir este estudio constituye un diseño univariable o unieventual. Más aún, puesto que en este estudio se usará la simulación numérica para influir directamente en la variable que se va a analizar, se trata de un diseño experimental: “el investigador interviene sobre las variables independientes o sobre los procesos causales” (Hurtado, 2012, p. 160).

3.6. Obtención y análisis de la información

Puesto que el presente estudio tiene un alcance de tipo descriptivo con diseño experimental, para la recolección de datos únicamente se usó la investigación bibliográfica documental. Con esto se logró presentar un modelo que nos permitirá modelar el tiempo de duración del escrutinio de votos en JRV's para procesos electorales presidenciales.

Por otro lado, para el contraste del modelo, para la obtención de la información se usó el internet para consultar la página web del CNE en la cual se procedió a recolectar una muestra de actas correspondientes a las elecciones presidenciales del año 2013. Para obtener las actas en formato digital mostradas en el Gráfico 3, se procedió a ingresar en la página web los siguientes 7 campos: provincia, circunscripción, cantón, parroquia, zona, número de la junta y sexo de la junta. El ingreso de los campos anteriores permite finalmente obtener el acta y recolectar los tiempos de escrutinio registrados en las mismas. Una muestra de la estructura de la base de datos resultante se puede observar a continuación:

Tabla 1.

Muestra de la información recolectada

Provincia	Circunscripción	Cantón	Parroquia	Zona	Número junta	Sexo junta	Hora
CHIMBORAZO	0	COLTA	CAJABAMBA	_	5	MUJERES	18:30:00
CHIMBORAZO	0	GUAMOTE	GUAMOTE	GUAMOTE	17	MUJERES	22:41:00
CHIMBORAZO	0	GUAMOTE	GUAMOTE	GUAMOTE	19	MUJERES	23:52:00
CHIMBORAZO	0	ALASI	TIXAN	TIXAN	2	MUJERES	17:55:00
EL ORO	0	MACHALA	MACHALA	MACHALA	98	MUJERES	18:05:00
EL ORO	0	MACHALA	MACHALA	MACHALA	161	MUJERES	18:05:00
EL ORO	0	MACHALA	MACHALA	MACHALA	198	MUJERES	18:05:00
EL ORO	0	MACHALA	MACHALA	MACHALA	206	MUJERES	18:00:00
EL ORO	0	MACHALA	MACHALA	MACHALA	239	MUJERES	18:05:00
EL ORO	0	MACHALA	MACHALA	MACHALA	40	HOMBRES	17:21:00

Fuente: Consejo Nacional Electoral.

El tiempo para recolectar los tiempos de las 415 actas fue de 5 días aproximadamente debido

a la velocidad con la que se ingresaron los campos y a la velocidad de consulta en la página web.

Una vez planteado el modelo y obtenida la muestra de tiempos, se procedió con la generación de tiempos simulados. Las simulaciones se obtuvieron en dos escenarios que difieren en cómo se obtuvieron las 3 estimaciones de la distribución Weibull: en el primer escenario se usa la muestra histórica de tiempos de escrutinio, mientras que en el segundo escenario se simula como si las estimaciones se hubieran obtenido a partir del juicio de un experto. En este último escenario, no se recurrió a un experto como tal, sino que se procedió a través de prueba y error hasta obtener 3 estimaciones que permitieron obtener tiempos de fin de escrutinio más cercanos a los valores reales y comprobar que el modelo Weibull puede estimarlo satisfactoriamente. En la práctica, en relación a la estimación del experto se señala que:

La estimación de expertos es una estimación informal, donde el experto estima el esfuerzo de una tarea seleccionada. La calidad de la estimación depende de la simplicidad o complejidad de la tarea estimada en sí, el grado de formalismo y en mayor parte – de la experiencia de los expertos - dentro de la propia técnica de estimación y también el problema estimado (Marounek, 2012, p. 53).

Adicionalmente, Muñoz (1976) sostiene que estas estimaciones se las puede obtener de las personas que tienen la responsabilidad de efectuar el trabajo que representan las actividades. Para concluir, el análisis de este estudio se lo realizó a través de la comparación de la simulación numérica obtenida con el modelo Weibull y la muestra de tiempos obtenida de la elección histórica del 2013. Estos datos fueron procesados y tabulados mediante el software R. R es un entorno de programación que es muy adecuado para resolver problemas estadísticos y econométricos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se implementa el modelo matemático que permite simular tiempos de escrutinio para procesos electorales presidenciales. Para el contraste del modelo se toma como ejemplo particular de una elección presidencial histórica, es decir se conocerá por adelantado los tiempos que dura el proceso de escrutinio para lo cual se tomó una muestra aleatoria simple de 415 actas de escrutinio con la finalidad de estimar el tiempo que dura el escrutinio en las JRV's. Esta muestra corresponde a un diseño muestral con un 95% de confianza y un 4.8% de error, lo que se considera como muestra representativa.

4.1. Programa computacional y resultados numéricos

El ingreso de datos al programa computacional consta de tres partes:

1. M (estimación del valor de la moda).
2. x_a (estimación del percentil inferior) y p_a (valor del percentil inferior).
3. x_b (estimación del percentil superior) y p_b (valor del percentil superior).

El programa computacional requiere que estas estimaciones sean conocidas por lo que se supone que las mismas se han obtenido a juicio de un experto o en su defecto se las puede construir a partir de una muestra como es el caso de la presente investigación. A fin de conocer el tiempo que dura el escrutinio en las JRV's, se describe en primer lugar el número de actas por provincias, perfil por zona urbana o rural, perfil por sexo de la JRV en la muestra y algunos estadísticos básicos de interés a fin de comprender de manera general la muestra utilizada.

4.1.1. Muestra de actas de tiempos de escrutinio de elecciones presidenciales

Este apartado se dedica al análisis de la muestra de actas a fin de detectar posibles sesgos de la muestra en base a 3 variables: provincia, zona o género. La importancia de hacer un

perfilamiento de la muestra, aunque las simulaciones se realizan sin ninguna estratificación, radica en la posibilidad de que la muestra puede estar sesgada, por ejemplo, hacia una sola provincia. Al final se obtienen algunos estadísticos importantes que serán usados en la siguiente sección.

De 415 actas que conforman la muestra, se observa que la mayoría de las actas con un 45,78% corresponden a las provincias Pichincha, Guayas y Manabí. Además, nótese como el tamaño de la muestra va disminuyendo según el tamaño de la provincia. **Ver Tabla 2**

Tabla 2.

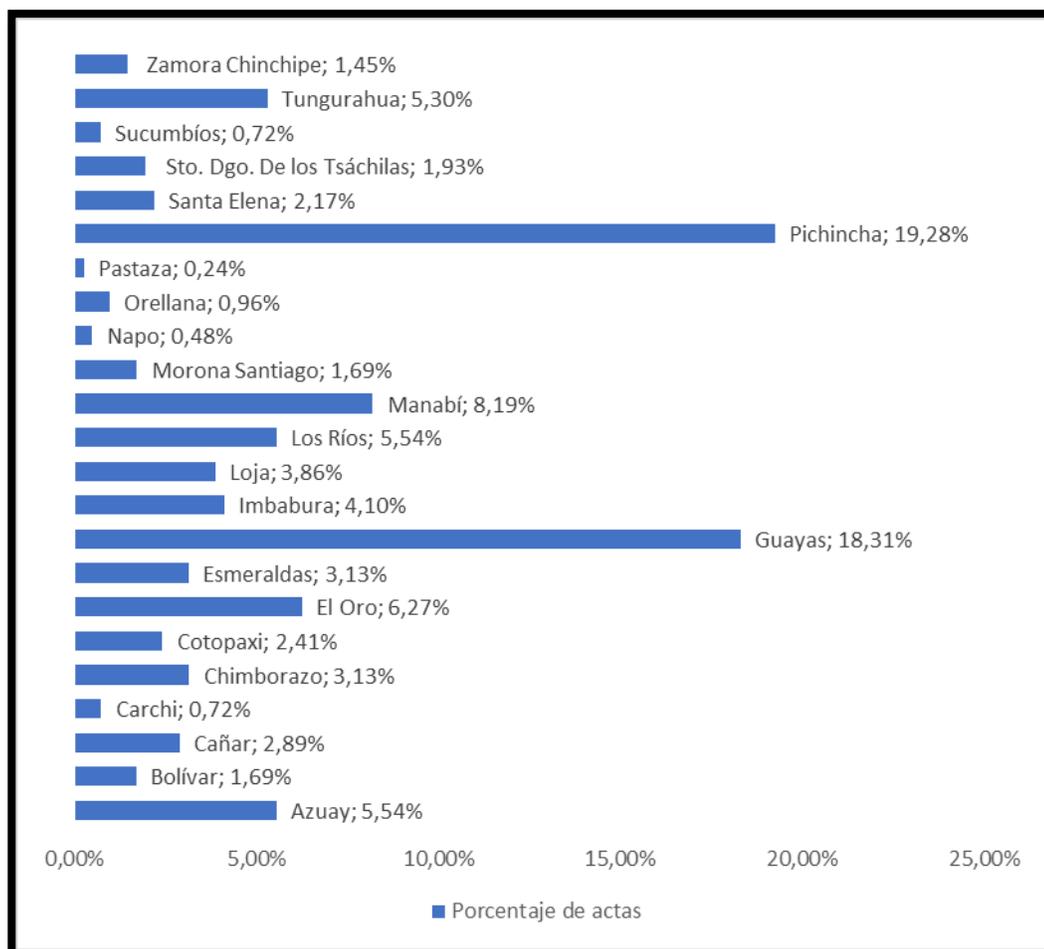
Número de actas por provincia en la muestra utilizada

Provincia	Actas
Azuay	23
Bolívar	7
Cañar	12
Carchi	3
Chimborazo	13
Cotopaxi	10
El Oro	26
Esmeraldas	13
Guayas	76
Imbabura	17
Loja	16
Los Ríos	23
Manabí	34
Morona Santiago	7
Napo	2
Orellana	4
Pastaza	1
Pichincha	80
Santa Elena	9
Sto. Dgo. De los	
Tsáchilas	8
Sucumbíos	3
Tungurahua	22
Zamora Chinchipe	6
TOTAL	415

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9.

Porcentaje de actas por provincia en la muestra utilizada



Fuente: Elaboración propia.

En lo referente al perfil de la muestra por zona urbana o rural, del total de actas, se observa la mayor cantidad de ellas están concentradas en la zona urbana (ver Tabla 3 y Gráfico 10).

Tabla 3.

Número de actas por zona en la muestra utilizada

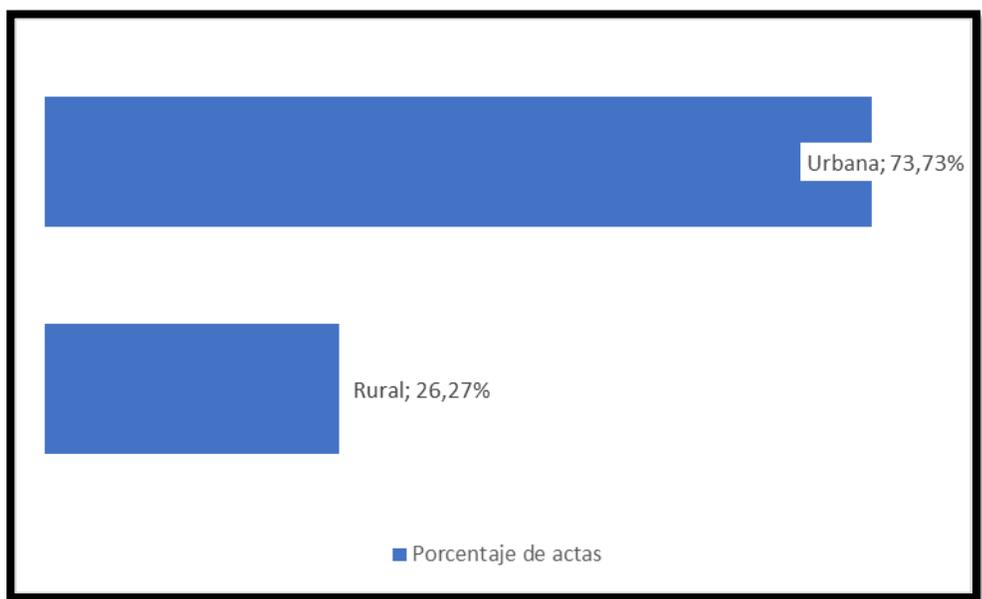
Zona	Actas
Rural	109
Urbana	306

TOTAL	415
--------------	------------

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10.

Porcentaje de actas por zona en la muestra utilizada



Fuente: Elaboración propia.

Para el perfil de la muestra por sexo de la JRV, del total de actas, la distribución de la muestra presenta una mayor concentración para las mujeres (Ver Tabla 4 y Gráfico 11).

Tabla 4.

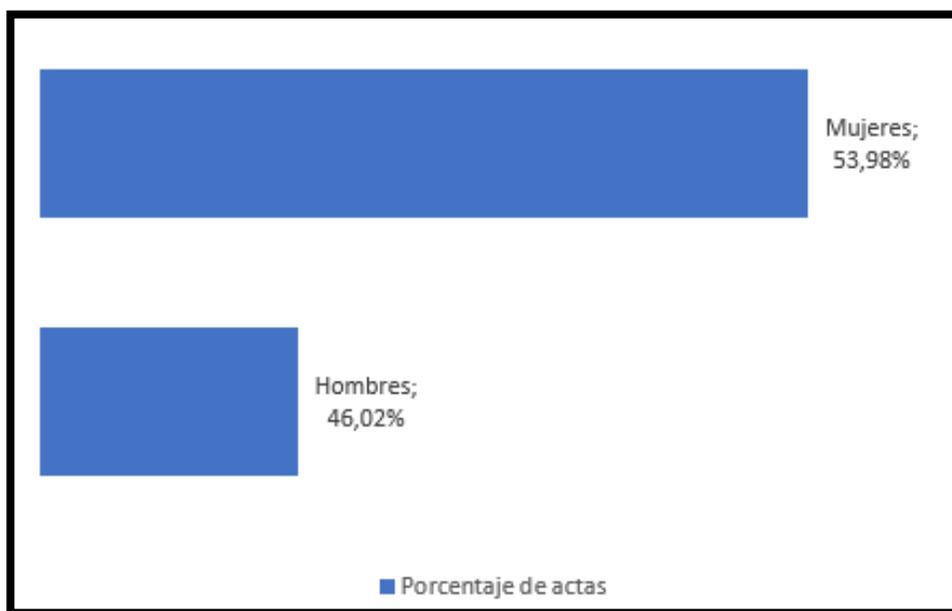
Número de actas por sexo en la muestra utilizada

Sexo	Actas
Hombres	191
Mujeres	224
TOTAL	415

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11.

Porcentaje de actas por sexo en la muestra utilizada



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, a continuación, se presenta algunos estadísticos provenientes de la muestra de tiempos recolectadas en las actas de escrutinio.

Tabla 5.

Estadística descriptiva de tiempos de escrutinio de la muestra utilizada.

Estadísticos	Valor
Máximo	23:52:00
Mínimo	17:10:00
Promedio	18:46:23
Moda	18:04:06
Mediana	18:19:00
Desviación Estándar	0,0575721
Varianza	0,00331455
Curtosis	3,15595011
Asimetría	1,98978782
Conteo	415
p0,01	17:20:08
p0,05	17:38:00
p0,90	21:00:00
p0,95	22:20:36

Primer cuartil	18:00:00
Tercer cuartil	18:45:00

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Presentación de resultados

Los resultados se presentan en dos formas: numérica y gráfica.

4.2.1. Resultados numéricos

En las Tablas 6, 7 y 8 se presenta los tiempos reales recolectadas en la muestra así como los tiempos simulados cuyo contenido es el resultado de ejecutar el algoritmo computacional de la metodología presentada para la distribución Weibull que resuelve el problema de obtener los tiempos de duración del escrutinio en las JRV's. Se presenta 2 escenarios de tiempos aproximados o simulados a fin de obtener tiempos que se aproximen a los valores reales de una elección presidencial histórica cuyos tiempos se conocen. Para obtener los tiempos simulados en la Tabla 6 se ha elegido el valor del parámetro $M = 18:46:23$ (6.383,13 segundos de duración una vez iniciado el escrutinio a las 17:00:00), $x_a = 17:38:00$ (2.280 segundos de duración), $p_a = 0,05$, $x_b = 21:00:00$ (14.400 segundos de duración), $p_b = 0,90$ todos estos obtenidos a partir de la muestra de una elección presidencial histórica. Asimismo, en la Tabla 7 se ha elegido el valor del parámetro $M = 18:30:00$ (5.400 segundos de duración), $x_a = 17:30:00$ (1.800 segundos de duración), $p_a = 0,01$, $x_b = 21:00:00$ (14.400 segundos de duración), $p_b = 0,99$ cuyos valores simulan como que se han obtenido a partir del juicio de un experto y/o experiencia.

Tabla 6.*Tiempos de escrutinio simulado con muestra histórica*

Escenario	Duracion(s)	Hora
tiempo_simulado_con_muestra	13971,68	2013/02/17 20:52:52
tiempo_simulado_con_muestra	5700,77	2013/02/17 18:35:01
tiempo_simulado_con_muestra	7608,49	2013/02/17 19:06:48
tiempo_simulado_con_muestra	15615,77	2013/02/17 21:20:16
tiempo_simulado_con_muestra	5168,31	2013/02/17 18:26:08
tiempo_simulado_con_muestra	6867,58	2013/02/17 18:54:28
tiempo_simulado_con_muestra	11675,52	2013/02/17 20:14:36
tiempo_simulado_con_muestra	10986,23	2013/02/17 20:03:06
tiempo_simulado_con_muestra	9618,04	2013/02/17 19:40:18
tiempo_simulado_con_muestra	4978,47	2013/02/17 18:22:58
tiempo_simulado_con_muestra	10068,50	2013/02/17 19:47:49

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 7.***Tiempos de escrutinio simulados a partir del juicio de un experto*

Escenario	Duracion(s)	Hora
tiempo_simulado_juicio_experto	4669,16	2013/02/17 18:17:49
tiempo_simulado_juicio_experto	4572,70	2013/02/17 18:16:13
tiempo_simulado_juicio_experto	6121,01	2013/02/17 18:42:01
tiempo_simulado_juicio_experto	3174,84	2013/02/17 17:52:55
tiempo_simulado_juicio_experto	6259,29	2013/02/17 18:44:19
tiempo_simulado_juicio_experto	9486,63	2013/02/17 19:38:07
tiempo_simulado_juicio_experto	14103,17	2013/02/17 20:55:03
tiempo_simulado_juicio_experto	2171,24	2013/02/17 17:36:11
tiempo_simulado_juicio_experto	13831,82	2013/02/17 20:50:32
tiempo_simulado_juicio_experto	6030,80	2013/02/17 18:40:31
tiempo_simulado_juicio_experto	7069,32	2013/02/17 18:57:49

Fuente: Elaboración propia.

Las Tabla 6 y 7 muestran un fragmento de los resultados de la simulación de las 39.761 actas que conforman la población. Por una parte, la primera columna en la Tabla 6 hace mención a que los tiempos se obtuvieron al usar la muestra histórica, mientras que en la Tabla 7 hace

referencia a que los tiempos se obtuvieron simulando el juicio de un experto. La segunda columna indica los tiempos simulados obtenidos con el algoritmo computacional propuesto en esta investigación y con parámetros $\beta = 1,869342$, $\theta = 8923,858204$, $x_0 = 458,195619$ para la Tabla 6 y $\beta = 1,952418$, $\theta = 6024,417$, $x_0 = 1228,967$ para la Tabla 7. Finalmente, la última columna representa la hora de fin del escrutinio y es el resultado de transformar las duraciones en formato horas, minutos, segundos y sumado las 17:00:00.

Tabla 8.

Tiempos de escrutinios reales

Escenario	Duracion(s)	Hora
tiempo_real	5400,00	2013/02/17 18:30:00
tiempo_real	3900,00	2013/02/17 18:05:00
tiempo_real	7200,00	2013/02/17 19:00:00
tiempo_real	3000,00	2013/02/17 17:50:00
tiempo_real	4800,00	2013/02/17 18:20:00
tiempo_real	2820,00	2013/02/17 17:47:00
tiempo_real	3600,00	2013/02/17 18:00:00
tiempo_real	5760,00	2013/02/17 18:36:00
tiempo_real	4800,00	2013/02/17 18:20:00
tiempo_real	6600,00	2013/02/17 18:50:00
tiempo_real	4440,00	2013/02/17 18:14:00

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, una tabulación por decil de los resultados obtenidos en las tablas 6, 7 y 8 conduce a lo mostrado en la Tabla 9.

Tabla 9.

Avance de escrutinio en JRV's

Porcentaje de actas escrutadas	Hora (tiempo real)	Hora (tiempo con muestra)	Hora (tiempo a juicio experto)
0%	2013/02/17 17:10:00	2013/02/17 17:07:51	2013/02/17 17:20:44
10%	2013/02/17 17:46:24	2013/02/17 17:53:05	2013/02/17 17:51:55
20%	2013/02/17 17:58:48	2013/02/17 18:14:33	2013/02/17 18:07:18
30%	2013/02/17 18:00:00	2013/02/17 18:33:42	2013/02/17 18:19:53
40%	2013/02/17 18:10:00	2013/02/17 18:51:51	2013/02/17 18:31:49
50%	2013/02/17 18:19:00	2013/02/17 19:10:06	2013/02/17 18:43:34

60%	2013/02/17 18:30:00	2013/02/17 19:30:07	2013/02/17 18:56:09
70%	2013/02/17 18:40:00	2013/02/17 19:52:29	2013/02/17 19:10:37
80%	2013/02/17 19:00:00	2013/02/17 20:19:51	2013/02/17 19:28:28
90%	2013/02/17 21:00:00	2013/02/17 21:00:28	2013/02/17 19:54:02
100%	2013/02/17 23:52:00	2013/02/18 02:59:14	2013/02/17 23:24:39

Fuente: Elaboración propia.

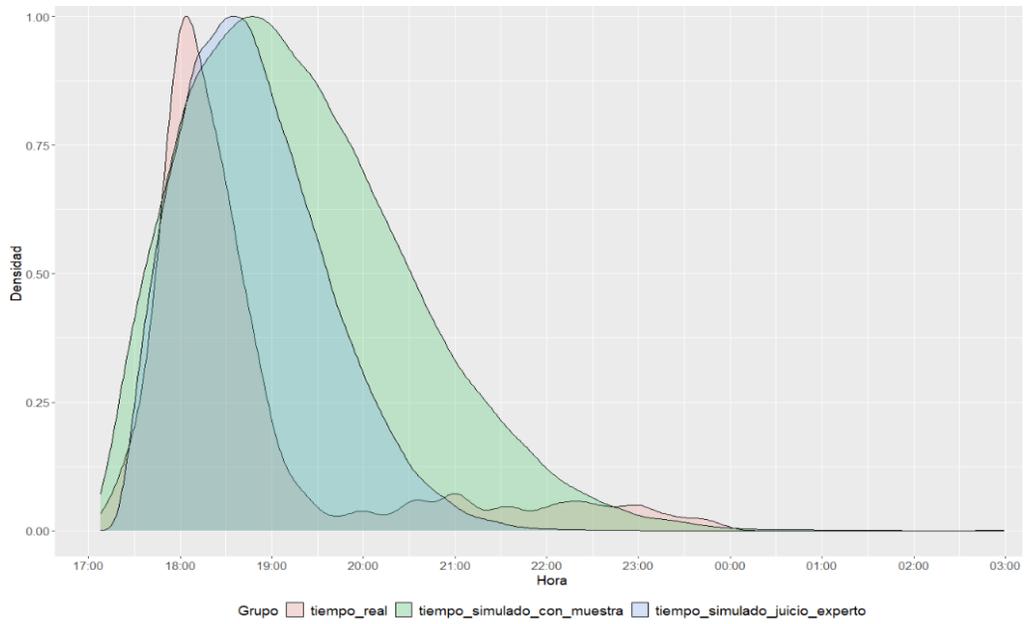
4.2.2. Resultados gráficos

Los resultados del Gráfico 12 presentan la distribución de los tiempos de escrutinio para una elección presidencial, mientras que en el Gráfico 13 se puede observar la curva de avance del escrutinio en JRV's con lo cual se puede conocer cuál es el porcentaje de actas que se han escrutado hasta una determinada hora del día. Por una parte, en el Gráfico 12 se puede ver que los tiempos simulados convergen a los tiempos reales a medida que el valor del percentil inferior se aproxima a las 17:00:00. El Gráfico 13, por su parte, permite apreciar que el escenario simulado a partir del juicio de un experto podría modelar satisfactoriamente la distribución subyacente de tiempos de escrutinio. Además, aunque los tiempos simulados en ambos escenarios se aproximan muy de cerca a los tiempos reales decil por decil, el escenario obtenido con una muestra sobreestima el valor del percentil 100%.

Al considerar la solución numérica de los tiempos de escrutinio representada en la Tabla 9 junto con la solución gráfica representadas en los gráficos 12 y 13 constituyen una herramienta científica para la toma de decisiones estratégicas y permitirán a los organismos electorales y especialistas en el ámbito electoral la adopción de mejores prácticas en la selección de horarios de difusión y en el momento oportuno logrando así una mejor optimización de recursos.

Gráfico 12.

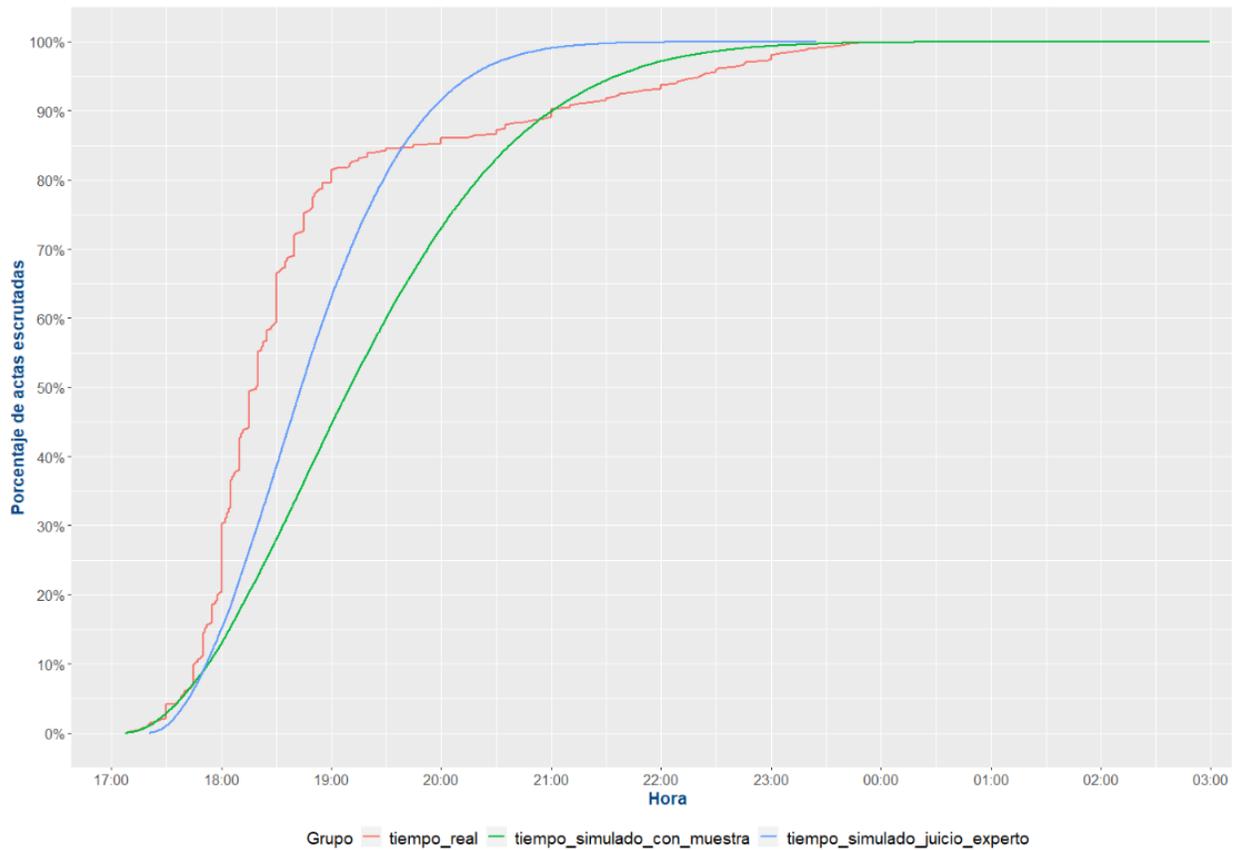
Densidad de tiempos de escrutinio en JRV's



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 13.

Avance del escrutinio en JRV's



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Discusión

Una vez analizado y descrito los diferentes resultados obtenidos tras la aplicación del modelo matemático presentado en esta investigación, se procede a realizar la discusión que permita consolidar lo obtenido y al mismo tiempo establecer las bases para el desarrollo de futuras investigaciones que permitan extender el alcance del estudio propuesta en este trabajo.

4.3.1. Obtención de parámetros de la distribución Weibull.

Tal como se observa en los resultados obtenidos, para obtener los parámetros de la distribución de probabilidad Weibull presentada en esta investigación, únicamente se requieren dos estimaciones de percentiles y la estimación de la moda. Conocido los tiempos reales es relativamente fácil generar tiempos simulados ya que al proceder con la obtención de estadísticos descriptivos de la muestra se pueden generar una serie de candidatos idóneos para los parámetros de la distribución presentada en esta investigación. Así, para la generación de la Tabla 6 y el Gráfico 12 se seleccionó el valor del parámetro $M = 18:46:23$ (6.383,13 segundos de duración una vez iniciado el escrutinio a las 17:00:00), $x_a = 17:38:00$ (2.280 segundos de duración), $p_a = 0,05$, $x_b = 21:00:00$ (14.400 segundos de duración), $p_b = 0,90$. Estas estimaciones se traducen en que el 5% de las actas se han escrutado hasta las 17:38:00, el 90% de las actas se han escrutada hasta las 21:00:00 y la hora pico a la cual se termina de escrutar la mayor cantidad de actas es a las 18:46:23. Aunque el valor de la moda es explícitamente mostrado en la Tabla 5 no se usa en la simulación de tiempos para el escenario con el uso de una muestra histórica ya que sobreestima el tiempo final del escrutinio. Sin embargo, para las estimaciones de los percentiles se seleccionaron los percentiles 5% y 90% calculados a partir de dicha muestra. Como un resultado, se

calcularon los siguientes parámetros mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10.

Resultados de ajustar el modelo Weibull presentado a los datos

Valores utilizados	Resultado
$M = 6.383,13; x_a = 2.280; x_b = 14.400;$ $p_a = 0,05; p_b = 0,90$	$\beta = 1,869342; \theta = 8923,858204;$ $x_0 = 458,195619$
$M = 5.400; x_a = 1.800; x_b = 14.400;$ $p_a = 0,01; p_b = 0,99$	$\beta = 1,952418; \theta = 6024,417;$ $x_0 = 1228,967$

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se obtuvo un escenario adicional cuyas estimaciones de parámetros simulan como que se han obtenido a partir del juicio de un experto y con el cual se llega a tiempos de fin de escrutinio más cercanos a los valores reales. Así, para obtener la Tabla 7 y Gráfico 13 se escogió el valor del parámetro $M = 18:30:00$ (5.400 segundos de duración), $x_a = 17:30:00$ (1.800 segundos de duración), $p_a = 0,01$, $x_b = 21:00:00$ (14.400 segundos de duración), $p_b = 0,99$. La interpretación de estas estimaciones resultan en que 1% de las actas se han escrutado hasta las 17:30:00, el 99% de las actas se han escrutada hasta las 21:00:00 y la hora pico a la cual se termina de escrutar la mayor cantidad de actas es a las 18:30:00. La Tabla 10 muestra los parámetros obtenidos al utilizar estos valores. El parámetro de forma, β , que controla la forma global de la distribución, permite conocer que la distribución Weibull en el escenario a juicio de un experto se aproxima más a la distribución normal en comparación al escenario con muestra. El parámetro de escala, θ , que permite tener una idea del tamaño de las colas, indica que el caso del escenario con muestra tiene una cola más pesada en comparación al escenario a juicio de un experto. Finalmente, en el caso del parámetro de localización, x_0 , que representa el periodo de tiempo entre las 17:00:00 y cuándo el escrutinio puede terminar, indica que las primeras actas

escrutadas se observan para el escenario con muestra.

4.3.2. Duración del tiempo de escrutinio

Los gráficos 12 y 13 muestran la distribución Weibull resultante dibujada junto con la distribución real de tiempos de escrutinio. En el eje x se puede observar el tiempo transcurrido desde el inicio del escrutinio a las 17:00 el día de la elección. Por una parte, en el Gráfico 12 se puede ver que la mayoría de JRV's terminan el escrutinio entre las 18:00 y las 19:00. Además, se puede ver que, una vez iniciado el escrutinio, las tres curvas son muy similares hasta antes de las 18:30. Después de esta hora, debido a las diferentes formas que tienen las distribuciones de tiempos, las tres curvas se desfasan notablemente hasta culminar con la última acta escrutada a las 23:52 según la muestra de tiempos reales, 02:59 según los tiempos obtenidos a partir de la muestra histórica y 23:24 según los tiempos obtenidos a partir del juicio de un experto. Se agrupa estas variables para seguir los mismos criterios de evaluación, ya que contienen resultados similares y por el grado de relación que existen entre las interrogantes. Por otra parte, a partir del Gráfico 13 y la Tabla 9 se puede ver como las tres curvas convergen juntas entre sí a medida que los percentiles más bajos convergen a las 17:00. Más aún, la curva de avance del escrutinio obtenida a partir del juicio de un experto se aproxima bastante bien tanto al inicio y fin del escrutinio en las JRV's. Esta última observación se puede observar en detalle en la Tabla 9 donde se puede ver que el escrutinio real terminó a las 23:52 mientras que el escrutinio simulado a partir del juicio de un experto terminó a las 23:24. Note que aunque la curva de avance del escrutinio obtenida a partir de una muestra sigue de cerca a la curva de avance real hasta las 21:00 la forma de su distribución con una cola pesada a la derecha hace que sobrestime el valor real de fin del escrutinio culminando a las 02:59.

Debido a que tanto el modelo Weibull presentado y las simulaciones obtenidas en

este estudio son estimaciones de la distribución subyacente desconocida de tiempos que se asume se pueden aproximar usando una distribución Weibull, no es útil comparar los ajustes vía una prueba de bondad de ajuste (Mc Combs et al., 2009). Sin embargo, visualmente parece que el modelo Weibull presentado podría satisfactoriamente modelar, y en especial el escenario obtenido a juicio de un experto, la distribución subyacente de los tiempos de escrutinio. En consecuencia, ¿por qué considerar el modelo Weibull sobre la metodología PERT? Mc Combs et al. (2009) señalan que existen problemas importantes con PERT indicando que estimar adecuadamente las duraciones pesimista, optimista y más probable de una actividad, en general, es difícil. Además, estos mismos autores apuntan que el modelo Weibull no requiere una estimación de la varianza pues este valor es calculado exactamente, se requieren únicamente 3 estimaciones a diferencia de PERT con múltiples estimaciones costosas y resaltan su fácil implementación en hojas de cálculo electrónicas o como en el presente estudio implementado en software libre en el lenguaje R.

Debido a lo informal del procedimiento de prueba, el programa computacional presentado en el Capítulo 2 solo puede considerarse como un prototipo en su etapa inicial.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con lo expuesto y los resultados obtenidos en esta investigación se concluye lo siguiente:

- 1) El objetivo central de esta investigación se basó en presentar un modelo matemático encontrado en la literatura como una alternativa a la metodología tradicional PERT para simular tiempos de escrutinio para procesos de elecciones presidenciales. Una vez analizado y discutido los resultados obtenidos, se puede concluir que se comprueba la hipótesis de trabajo planteada inicialmente: “El tiempo de escrutinio en JRV's puede ser estimado con una distribución de probabilidad Weibull”.
- 2) La utilización de este modelo de estimación de tiempos de escrutinio podría satisfactoriamente modelar el comportamiento real de una elección presidencial y la duración del escrutinio. Los errores asociados con el modelo Weibull se relacionan a la precisión de las estimaciones subjetivas originales y si el modelo Weibull puede satisfactoriamente describir la distribución subyacente como se pudo evidenciar en los escenarios de simulación presentados en los Gráficos 12 y 13.
- 3) Si se pueden obtener las 3 estimaciones M , x_a y x_b de la distribución desconocida de los tiempos de escrutinio ya sea a través de información histórica o a través del juicio de un experto, entonces se puede estimar la distribución desconocida con una distribución de probabilidad Weibull.

- 4) El método de validación del modelo propuesto se realizó en base a la comparación con una muestra de tiempos reales de escrutinio del proceso electoral presidencial del año 2013, con lo que se pudo determinar que no es necesario estimar la media o varianza de una actividad futura. Estos valores son calculados exactamente y más aún el modelo propuesto requiere únicamente 3 estimaciones a diferencia de PERT con parámetros que en general son difíciles de estimar y con múltiples estimaciones costosas.

- 5) Cabe recalcar que el presente estudio no debe interpretarse como si fuese el diseño completo. Más bien, el objetivo es demostrar la forma en que los modelos matemáticos pueden ser puestos en práctica convirtiéndose en una herramienta científica poderosa para la toma de decisiones estratégicas.

6. RECOMENDACIONES

1. Debido a la importancia del problema de estimar los tiempos de escrutinio en las JRV's se recomienda realizar un estudio comparativo utilizando distribuciones de probabilidad diferentes a la propuesta en esta investigación.
2. Se recomienda realizar un estudio más profundo para estimar tiempos de escrutinio mediante el ajuste de distribuciones de probabilidad a los datos con las respectivas pruebas de bondad de ajuste.
3. Se recomienda ampliar el alcance de la distribución Weibull propuesta y/o modificarlo de ser necesario para tomar en cuenta los efectos asociados al número de miembros presentes en la JRV, por ejemplo, la ausencia de 2 o 3 de los miembros de la JRV al iniciar el escrutinio.
4. A fin de estimar de manera más precisa los tiempos de escrutinio reales y establecer horarios de difusión de resultados preliminares en el momento oportuno se recomienda generar simulaciones en varios escenarios, por ejemplo, optimista y pesimista, así como generar nuevas simulaciones sobre la marcha a medida que se vayan conociendo valores reales.
5. Se recomienda extender el alcance del presente estudio modelando no solo los tiempos de escrutinio en las JRV's sino también modelar el tiempo que dura la recolección de actas, escaneo de actas, digitación de actas, control de calidad de actas y revisión de firmas en actas cerrando así el ciclo de flujo de las actas que inicia en el escrutinio en la JRV hasta la publicación en la página web del CNE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelkader, Y. H. (2004). Evaluating project completion times when activity times are Weibull distributed. *European Journal of Operational Research*, 157(3), 704-715.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación* (6a ed.). Caracas: Epísteme.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación* (Tercera Edición ed.). Bogotá, Colombia: Pearson Education.
- Callahan, M. T., Quackenbush, D. G., and Rowings, J. E. (1992). *Construction project scheduling*. McGraw-Hill, New York.
- Consejo Nacional Electoral (2014). *Atlas Electoral del Ecuador 2009 – 2014*, Quito – Ecuador.
- Consejo Nacional Electoral (2013). *Resultados Electorales 2013*, Quito – Ecuador.
- CNE (2016a). *Flujo de proceso del sistema de transmisión y publicación de resultados “STPR”* (2016). Elecciones Generales 19 de febrero del 2017. Quito – Ecuador.
- CNE (2016b). *Procedimiento del funcionamiento de los Centros de Procesamiento de Resultados (CPR)* (2016). Proceso Electoral 2017. Quito – Ecuador.
- CNE (2016c). *Procedimiento del funcionamiento de los recintos que no han sido considerados para transmisión y publicación de actas (NO-RTPA)* (2016). Proceso Electoral 2017. Quito – Ecuador.
- CNE (2016d). *Procedimiento del funcionamiento de los recintos de transmisión y publicación de actas (RTPA)* (2016). Proceso Electoral 2017. Quito – Ecuador.
- CNE (2016e). *Reglamento No. 000461 de Integración, implementación y funcionamiento del sistema de transmisión y publicación de resultados “STPR”* (2016). Quito – Ecuador.

- Constitución de la República del Ecuador (2008). Recuperado a partir de http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Cottrell, W. D. (1999). Simplified program evaluation and review technique (PERT). *Journal of construction Engineering and Management*, 125(1), 16-22.
- Ebeling, C. (1997). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. McGraw-Hill.
- Gładysz, B. (2017). Fuzzy-probabilistic PERT. *Annals of Operations Research*, 258(2), 437-452.
- Hurtado, J. (2012). *El proyecto de investigación (7a ed.)*. Caracas: Quirón.
- Johnson, N. L., Kotz, S. and Balakrishnan, N. (1994). *Continuous Univariate Distributions, Volume I, 2nd edition*. John Wiley, New York.
- Kalbfleisch, J. G. (2012). *Probability and Statistical Inference: Volume 1: Probability*. Springer Science & Business Media.
- Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas de la República del Ecuador – Código de la Democracia (2013). Tercera reimpresión. Quito – Ecuador.
- Marounek, P. (2012). Simplified approach to effort estimation in software maintenance. *Journal of systems integration*, 3(3), 51-63.
- Martín, M. D. M. L., & García, C. B. G. (2007). Nuevas distribuciones en la metodología PERT. In *Anales de economía aplicada 2007* (pp. 307-329). Asociación Española de Economía Aplicada, ASEPELT. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5169065>
- McCombs, E. L., Elam, M. E., & Pratt, D. B. (2009). Estimating task duration in PERT using the Weibull probability distribution. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*.
- Muñoz, E. C. (1976). Programación y control por el método PERT. *Revista de Economía Política*.

- Pleguezuelo, R. H., & Rodriguez, E. P. (1991). Estimación de una distribución beta como modelo para su utilización en el método PERT. V Reunión Anual de ASEPELT-ESPAÑA, 1191-1199.
- Poggioli, P. (1976). Aplicación práctica del método PERT. Reverte.
- Rinne, H. (2008). The Weibull distribution: a handbook. CRC press.
- Rojas, V. M. N. (2011). Metodología de la investigación. Diseño y ejecución. Ediciones de la U.
- Sampieri Hernández, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. México DF.
- Taha, H. A. (2012). Investigación de operaciones. Pearson Educación. Novena Edición.

ANEXOS

Anexo I. Función para obtener el gráfico de densidades de tiempos de escrutinio.

```
##### Cargar librerías necesarias

library(ggplot2)

library(scales)

library(ggeasy)

library(dplyr)

library(lubridate)

##### Creación de marco de datos con tiempos reales y simulados

datos_unificado <- bind_rows(data.frame(

  Grupo="tiempo_real",

  Hora = sort(df$HORA), # hora de fin del escrutinio registrado en actas

  Actas = 1:nrow(df)

) %>%

mutate(Porcentaje_actas=Actas/nrow(df)),

data.frame(

  Grupo="tiempo_simulado_con_muestra",

  Hora = sort(tiempos_escrutinio_simulados_con_muestra$fin_escrutinio),

  Actas = 1: nrow(tiempos_escrutinio_simulados_con_muestra)

) %>%

mutate(Porcentaje_actas=Actas/nrow(tiempos_escrutinio_simulados_con_muestra)) ,

data.frame(

  Grupo="tiempo_simulado_juicio_experto",

  Hora = sort(tiempos_escrutinio_simulados_juicio_experto$fin_escrutinio),

  Actas = 1: nrow(tiempos_escrutinio_simulados_juicio_experto)

) %>%
```

```

mutate(Porcentaje_actas=Actas/nrow(tiempos_escrutinio_simulados_juicio_experto))
)
# La columna fin_escrutinio corresponde a las duraciones simuladas convertidas a horas y
sumadas las 17:00 para obtener la hora de fin del escrutinio
### Comparativo de gráficos de densidades ----
comparativo_densidades <- function (datos_unificado = datos_unificado) {
grafico <- ggplot(datos_unificado, aes(x=Hora,y=..scaled..,fill = Grupo)) +
geom_density(alpha = 0.2, position = "dodge") +
ggtitle("Tiempos de escrutinio") +
ylab("Densidad") +
scale_x_datetime(labels = date_format("%H:%M"),
date_breaks = "1 hour") +
easy_move_legend("bottom") +
theme(legend.title = element_text(size=14)) +
theme(legend.text=element_text(size=14)) +
theme(axis.text.x = element_text(size=12),
axis.title.x = element_text(size=14),
axis.text.y = element_text(size=12),
axis.title.y = element_text(size=14))
print(grafico)
}

```

Anexo II. *Función para obtener el gráfico de avance del escrutinio.*

```
##### graficos de avance unificado ----  
comparativo_avances <- function (datos_unificado = datos_unificado) {  
grafico <- ggplot(datos_unificado,  
  aes(Hora, Porcentaje_actas, fill=Grupo)) +  
geom_line(aes(color=Grupo), lwd=1) +  
xlab("Hora") +  
ylab("Porcentaje de actas escrutadas") +  
theme(axis.title.x=element_text(face="bold", size=16, colour="#004383")) +  
theme(axis.title.y=element_text(face="bold", size=16, colour="#004383")) +  
scale_x_datetime(labels = date_format("%H:%M"),  
  date_breaks = "1 hour") +  
easy_move_legend("bottom") +  
theme(legend.title = element_text(size=14)) +  
theme(legend.text=element_text(size=14)) +  
theme(axis.text.x = element_text(size=12),  
  axis.title.x = element_text(size=14),  
  axis.text.y = element_text(size=12),  
  axis.title.y = element_text(size=14)) +  
scale_y_continuous(breaks = seq(0, 1, by = 0.1),  
  labels = scales::percent_format(accuracy = 1))  
print(grafico)  
}
```