

MODELO DE CLASIFICACIÓN DEL RIESGO DE LOS CONFLICTOS DE TRÁFICO EN INTERSECCIONES RURALES EN T

Alejandro Torres Flores, Universidad de Santiago de Chile, alejandro.torres@usach.cl
Francisco Torres Avilés, Universidad de Santiago de Chile, francisco.torres@usach.cl
José M^a Pardillo Mayora, Universidad Politécnica de Madrid, jmpardillo@caminos.upm.es

RESUMEN

Este artículo propone un índice que represente el nivel de riesgo de cada conflicto de tráfico en una intersección, determinándose que los valores más altos del índice están relacionados a un mayor riesgo que un conflicto termine en accidente, mientras valores bajos indican un menor riesgo. Se desarrolla un modelo de clasificación del riesgo en intersecciones, aplicando la teoría de árboles de decisión. Se valida el Tiempo de Evasión como variable cuantificadora de la severidad de los conflictos de tráfico, tomando como base variables ya estudiadas a nivel mundial, como el Tiempo hasta la Colisión y el Tiempo de Post-invasión.

Palabras claves: Análisis de componentes principales, Árboles de Clasificación, Conflicto de Tráfico, Tiempo a la Colisión, Tiempo de Evasión

ABSTRACT

In this paper, an index are proposed that represents the risk level of each traffic conflict in an intersection, determining that the highest values of the index are related to a greater risk of than a traffic conflict it finished in accident, whereas low values indicate a smaller risk. After that, a model of classification of the risk in intersections is developed, applying the theory of decision trees. Finally, Time to Evasion is validated like quantifying variable of the traffic conflicts, taking as it bases studied variables at world-wide level, like Time to Collision and Post – encroachment Time.

Keywords: Intersection Safety, Traffic Conflicts, Time to Collision, Time to Evasion, Principal Component Analysis, Classification Trees

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos que se persigue al diseñar una intersección es minimizar el número de potenciales eventos que pudieran traducirse en accidentes, a la vez de facilitar la comprensión y movimientos a través de ella por parte de los usuarios, con los estándares más altos de seguridad. Es en este punto donde radica la importancia de realizar estudios rápidos conducentes a evaluar la seguridad en intersecciones, así como también ir evaluando de manera pronta las mejoras efectuadas. Para determinar si una intersección es segura, se han empleado diversas metodologías como los modelos de predicción de accidentes, modelos de simulación de tráfico y técnicas que no necesitan grandes bases de datos para determinar el potencial riesgo de accidentes, como el análisis de conflictos de tráfico y las auditorías de seguridad vial o las llamadas mediciones alternativas, las que fundamentan esta investigación.

Las mediciones alternativas de seguridad vial podrían ser un indicador para cuantificar la seguridad, y ayudar a decidir entre diferentes alternativas, sin tener que recurrir a los costosos estudios de accidentalidad o a los no menos costosos proyectos de reconstrucción; una opción es complementar este estudios con otro tipo de medidas para determinar la seguridad en los diferentes elementos de la carretera; precisamente en este punto es donde pueden tener un amplio campo de aplicación las mediciones alternativas de seguridad en intersecciones.

2. LA TÉCNICA DEL CONFLICTO DE TRÁFICO

Perkins y Harris (1968) identificaron los patrones de conflictos de tráfico que relacionaron con algún tipo de accidente, la técnica fue considerada como una medida del potencial de accidentes. Glauz y Migletz (1982), aportan las siguientes consideraciones de seguridad, relación con el entorno, consistencia, repetibilidad y economía.

En el año 1987 en la Universidad de Lund, Suecia el profesor Christer Hydén, introdujo un concepto que denominó Tiempo hasta el Accidente, dentro de lo que se conoce como Técnica Sueca de Conflictos de Tráfico, la cual se caracterizó principalmente por tres aspectos,

- i) Definió medidas objetivas para medir la severidad de los conflictos: Tiempo al Accidente (TA) y Velocidad Conflictiva (VC).
- ii) Solamente estudia los conflictos considerados como severos.
- iii) La información se recopila de manera subjetiva por medio de observadores.

Los investigadores Almqvist y Hydén (1994) creen que esta técnica es la forma más directa de considerar una intersección con un alto riesgo de accidentes. Gettman y Head (2003) definieron los conflictos de tráfico como situaciones observables que pueden indicar la seguridad relativa que puedan tener diferentes diseños de intersecciones. Estos eventos de conflictos ocurren entre dos vehículos que están sobre una trayectoria de colisión, pero no ocurre debido a alguna acción evasiva; estos conflictos ocurren en un sitio particular en un tiempo y espacio, denominado punto de conflicto.

3. MEDICIONES ALTERNATIVAS O SUSTITUTAS DE SEGURIDAD VIAL

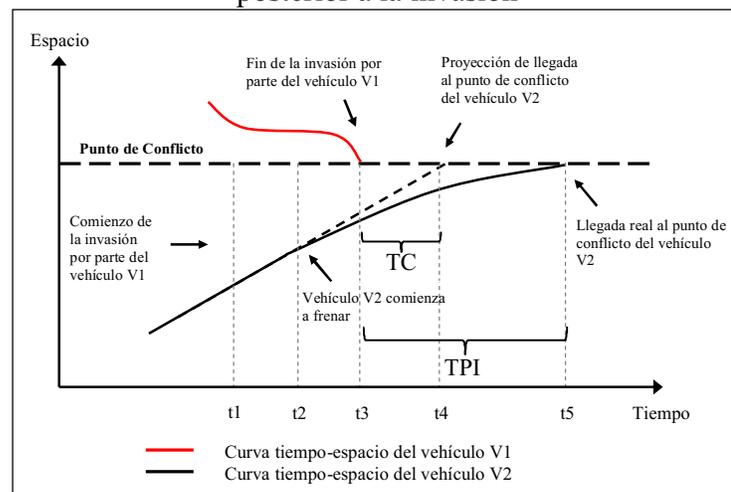
Las mediciones alternativas de seguridad son medidas de tiempo, los cuales se registran durante la ocurrencia de un conflicto de tráfico. Estas mediciones evalúan cuán cerca estuvo un conflicto entre vehículos que circulan a través de una intersección, de terminar en una colisión y del nivel de severidad que hubiese tenido dicha colisión.

La medida alternativa de severidad de un conflicto más aceptada es el tiempo hasta la colisión (TC), aunque otras medidas (tiempo posterior a la invasión, TPI; o tasa de deceleración, TD) han sido propuestas como medidas de otras características de situaciones de conflicto (Gettman y Head, 2003). Al revisar la bibliografía y los principales estudios desarrollados, se puede observar claramente que los autores reconocen el TC como una de las principales medidas de severidad de los conflictos (Perkins y Harris, 1968; Hayward, 1972; Allen et al, 1978; Glauz y Migletz, 1982; Hydén, 1987; Brown y Cooper, 1990; Van der Horst, 1990; Gettman y Head, 2003; Archer, 2005), cuyo umbral para considerar un conflicto severo lo fijan en $TC < 1,5$ segundos.

Para un punto de conflicto, la medida del TC se define como la diferencia entre el tiempo final de encuentro del vehículo que gira y el tiempo estimado en que llegará al punto de conflicto el vehículo que se traslada en línea recta y que posee la prioridad de paso, si éste continuara con la misma trayectoria y con la misma velocidad que poseía antes de comenzar a frenar para evitar la colisión.

Para un punto de conflicto, la medida del tiempo posterior a la invasión (TPI) se define como la diferencia de tiempo entre la salida del punto de conflicto de la zona de encuentro y la llegada a ese punto de conflicto del vehículo que se traslada en línea recta y que posee la prioridad de paso. En la revisión documental se establece que mientras más cercano a cero sea el valor de TPI, más cerca estuvo de producirse la colisión (Allen et al, 1978). En la gráfica de la figura 1, se muestra la ubicación tiempo-espacio de los conceptos punto de conflicto, TC y TPI.

Figura.1. Ubicación tiempo-espacio de un punto de conflicto, tiempo hasta la colisión y tiempo posterior a la invasión



FUENTE: Gettman y Head, 2003

En el presente estudio se introducirá la medida Tiempo de Evasión (TE), definida como el tiempo medido en segundos que transcurre al momento de realizar una maniobra evasiva (frenado) hasta que el parachoques delantero del vehículo llega al punto de conflicto definido. Este nuevo concepto, está asociado a la percepción del conductor al acercarse a la intersección, el cual entrega el tiempo que tiene para realizar una maniobra en caso de que se produzca un evento inesperado. Su cálculo queda definido por el cociente entre la Distancia de Frenado (DF) y la Velocidad de Aproximación (VA). Esta nueva medición alternativa de seguridad (TE), se correlacionará con las medidas ya estudiadas, como son TC y TPI, que serán las 3 mediciones alternativas de seguridad que se utilizarán en este estudio.

A su vez, se define la Distancia de Frenado (DF) como la longitud medida en metros, desde el punto donde es accionado el freno del vehículo (lo que da inicio a una maniobra evasiva), hasta el punto de conflicto definido en la intersección estudiada. La Velocidad de Aproximación (VA), velocidad medida 150 metros antes del punto de conflicto definido.

4. ESTRATEGIA METODOLOGICA

Está basada en los métodos multivariantes de la estadística clásica, cada unidad experimental se define por los conflictos de tráfico.

Para el análisis se considera,

- a) El muestreo de información de las variables originales (TC, TE, TPI, DF y VA) para cada uno de los conflictos identificados en las intersecciones, incluyendo un análisis correlacional de la información.
- b) Resumir la información disponible a través de una nueva variable o índice, utilizando la metodología conocida como Componentes Principales (Peña, 2002). Esto permitirá construir un índice cuantitativo del riesgo para cada intersección incluida en el estudio, con las variables originales estandarizadas de forma multivariada.
- c) Finalmente, es de interés estudiar el comportamiento del índice propuesto con el fin de determinar posibles grupos en los datos que representen a los niveles de riesgo.

Se proponen reglas de clasificación basadas en la metodología propuesta por Hothorn et al. (2006), cuyo procedimiento general se enfoca en construir un árbol de regresión/clasificación midiendo sucesivamente la asociación entre la variable respuesta y las particiones de las covariables aplicando múltiples tests de permutación (Strasser y Weber, 1999), hasta que no se detecte asociación significativa, por lo que el proceso recursivo se detiene. Para cumplir con este objetivo se procede en tres fases,

1. Se construye un árbol de regresión independiente para cada intersección, cuya variable respuesta corresponderá al índice de riesgo cuantitativo obtenido del análisis de componentes principales. Esta teoría de regresión busca relacionar el conjunto de variables originales (DF, VA, TC, TPI y TE) con una variable respuesta, que en este caso corresponde al índice de riesgo de la intersección.
2. La validación de cada árbol-modelo se realizará usando los modelos ajustados para cada intersección, y se seleccionará aquel que clasifica mejor, usando como medida de discrepancia el

promedio de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los predichos o error cuadrático medio (ECM) estimado.

3. Una vez seleccionado el modelo de árbol de regresión con el mínimo ECM y a partir del índice cuantitativo, se propone una regla de clasificación basada en un árbol cualitativo de clasificación, que indique la existencia o no existencia del riesgo, con el fin de dar una respuesta más parsimoniosa al problema de determinar si un conflicto que se observa en intersección es considerado en “riesgo alto de accidente” o “riesgo bajo de accidente”.

Los cálculos y análisis del presente trabajo se realizarán usando el software estadístico “R” y considerando un nivel de significación del 5%.

5. RECOPILOCIÓN y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

5.1 Características de la Información

Las intersecciones seleccionadas para la recolección de datos en campo, están ubicadas en una zona de carácter rural de la provincia de Talagante, Región Metropolitana de Santiago, Chile. Las intersecciones corresponden a la ruta G-78 con G-374 (I1), la ruta G-30 con G-374 (I2) y la ruta G-40 con G-46 (I3), las cuales se muestran en la Figura 2.



Figura 2. Intersecciones seleccionadas para el estudio: a. ruta G-78 con G-374; b. ruta G-30 con G-374; c. ruta G-40 con G-46

Fuente: Google Earth.

Los tres cruces están conformados por el encuentro de 2 vías bidireccionales, su prioridad de paso está regulado por una señal PARE. Las mediciones se efectuaron en época y horarios laborales (de 10:00 a 17:00 horas), durante 3 días para cada intersección, de las cuales se obtuvieron 635, 463 y 591 conflictos medidos para las intersecciones I1, I2 e I3, respectivamente. Estas intersecciones tienen características similares, así se esperaría que no hubiera factores externos que marquen diferencias en los resultados.

Como primer paso previo al inicio del registro de datos, se deberá visitar la intersección que se necesite evaluar para analizar y evaluar las maniobras que los conductores realizan al ingresar a la intersección, ya sea para cruzarla o para efectuar un giro; esta etapa previa es de suma importancia, ya que es en esta visita donde se definirán los puntos de conflicto para efectuar el análisis, es importante contar con algún medio de apoyo, en lo posible una cámara de vídeo para luego analizar las maniobras en detalle. También es de utilidad observar la intersección desde

distintos puntos, tratando de colocarse en el lugar de todos los conductores, debe hacerse un recorrido del sitio a bordo del coche efectuando cada una de las maniobras observadas, esto para “sentir” la intersección como un conductor más.

Una vez definidas las maniobras del estudio y los puntos de conflicto, se puede iniciar el acondicionamiento de la intersección efectuando marcas con pintura en la superficie del pavimento; estas marcas se iniciarán en cada punto de conflicto definido hasta 150 m adentrado en el ramal, una marca cada 5 m es suficiente.

Después de acondicionar la intersección, se puede dar inicio a la recogida de datos, para ello se necesitarán un mínimo de dos observadores por cada ramal de la vía principal de la intersección en estudio, en los cuales se registrarán las velocidades (velocidad de aproximación, VA) y las distancias al punto de conflicto definido donde el conductor efectúa el frenado (distancia de frenado, DF) por medio del encendido de las luces de freno; se efectuarán grabaciones de vídeo que se utilizarán en el trabajo de gabinete para analizar los conflictos, se necesitará un operario para el equipo de grabación. Se deberá contar con un operario adicional miembro del equipo de trabajo, en caso de cualquier eventualidad.

Las grabaciones se efectuarán en un periodo mínimo de un día, evitando efectuarlas en las horas punta, si en estas se produce congestión alta. Esta grabación debe abarcar toda la intersección hasta una distancia mínima de 40 m a cada lado de los puntos de conflictos definidos con anterioridad.

Para el registro de datos en campo, se siguió el siguiente procedimiento:

a) Identificación de puntos de conflictos. Ubicaciones fijas en el espacio donde se intercepta el flujo de tráfico del ramal secundario (sin prioridad de paso) con el flujo de tráfico del ramal principal (con prioridad de paso).

b) Identificación de un conflicto. Un conflicto de tráfico es un acontecimiento que implica a dos o más vehículos en una intersección, donde el vehículo del ramal secundario percibe que tiene el tiempo y espacio suficiente para cruzar la intersección, en dicha acción se intercepta la línea de trayectoria del vehículo que circula por el ramal que tiene prioridad de paso, provocando que este último deba hacer una maniobra evasiva para evitar una colisión.

c) Identificación de los vehículos implicados en un conflicto. Una vez que se identifica la ocurrencia de un conflicto, se debe identificar a los usuarios implicados para el posterior análisis de este acontecimiento. Al vehículo que proviene del ramal sin prioridad de paso, el cual inicia el conflicto, le será asignada la nomenclatura V1; al vehículo que proviene del ramal con prioridad de paso, el cual se ve afectado por la situación de conflicto, le será asignada la nomenclatura V2.

d) Realización de línea temporal del conflicto. Para la obtención de las mediciones alternativas de seguridad es necesario realizar una línea temporal del conflicto en estudio, con lo cual se puede describir el conflicto mediante los sucesos importantes que lo componen. Para describir un conflicto con exactitud se necesitan 5 medidas de tiempo, éstas son (Figura 1):

- Tiempo t_1 , en este momento, el vehículo V1 percibe que tiene el tiempo y el espacio suficiente y comienza a entrar en el área de invasión.
- Tiempo t_2 , en este momento, el vehículo V2 percibe la inminencia de una colisión y comienza a frenar para evitar dicha colisión. En este momento se registra la distancia al punto de conflicto, donde el vehículo V2 acciona el freno, esta distancia se ha definido como Distancia de Frenado (DF).
- Tiempo t_3 , en este momento, el parachoques posterior del vehículo V1 deja el punto de conflicto.
- Tiempo t_4 , en este momento, el vehículo V2 llegaría al punto de conflicto si continuara a la misma velocidad y trayectoria que antes del comienzo de la acción de frenado.
- Tiempo t_5 , en este momento, el vehículo V2 llega realmente al punto del conflicto.

5.2 Modelo de clasificación cuantitativo del riesgo de las intersecciones

Las componentes principales son nuevas variables que sintetizan la información contenida en las originales. Estas nuevas variables, son no correlacionadas y se encuentran en orden decreciente según orden de importancia. Se presentan sólo las dos primeras componentes, debido a que el porcentaje de variabilidad acumulado explicado por ambas dimensiones supera el 70% en cada intersección.

Para el análisis de componentes principales, utilizado para construir el índice cuantitativo de riesgo, se usará la matriz de correlaciones estimada en cada intersección. Las componentes principales y sus variabilidades son presentadas en la Tabla 1.

Además de verificar que las componentes escogidas acumularan una variabilidad explicada mayor a un 60%, se exigió que las componentes tuvieran una interpretación lógica relacionada con el riesgo de la intersección. Así, se justifica consistentemente la construcción del índice.

Debido a que la primera componente principal, cuyos coeficientes son los asociados a la combinación lineal del conjunto de variables originales que formará el índice, explica el valor umbral de porcentaje acumulado de variabilidad exigido ($> 65\%$) en las tres intersecciones, se puede decir que estas nuevas variables resumen adecuadamente la información de las variables originales asociadas a las mediciones alternativas de seguridad, luego, las primeras componentes son potenciales candidatas a representar un índice de riesgo.

Tabla 1. Componentes principales correspondientes a las intersecciones en estudio.

	Intersección <i>G78 G374</i>		Intersección 2 <i>G30 G374</i>		Intersección 3 <i>G40 G46</i>	
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 1	Comp. 2
DF	0.382	0.675	0.406	0.620	0.361	0.710
VA	-0.353	0.737	-0.322	0.784	-0.361	0.701
TE	0.510	0.015	0.515	0.017	0.510	0.048
TC	0.509	0.012	0.515	-0.031	0.519	-0.008
TPI	0.459	-0.026	0.449	0.016	0.458	-0.053
Varianza	3.740	0.938	3.595	1.003	3.425	1.051
% Variabilidad Explicada	74.80	18.75	71,91	20.06	68.50	21.02

Fuente: Elaboración propia.

Considerando las primeras componentes para cada intersección, los índices propuestos para cada una de las intersecciones involucradas estarán dadas por las fórmulas (1) – (3).

Índice de I1

$$I_1 = -0.382 DF + 0.353 VA - 0.510 TE - 0.509 TC - 0.459 TPI \quad (1)$$

Índice de I2

$$I_2 = -0.406 DF + 0.322 VA - 0.515 TE - 0.515 TC - 0.449 TPI \quad (2)$$

Índice de I3

$$I_3 = -0.361 DF + 0.360 VA - 0.510 TE - 0.519 TC - 0.458 TPI \quad (3)$$

Es posible verificar que la interpretación de la primera componente principal se asocia a un índice de riesgo de la intersección, pues, los coeficientes de esta componente son negativos para las variables que de tener valores pequeños reflejan un mayor riesgo de la intersección, como son las variables DF, TC, TPI y TE. Por otra parte, el coeficiente de la variable VA es positivo, por lo que al presentar valores altos se obtiene también un mayor riesgo de la intersección. En síntesis, valores bajos del índice representan un bajo riesgo de la intersección y valores altos representan un alto riesgo.

Los coeficientes que acompañan a cada una de las variables originales, representan el peso que tienen éstas sobre la variable respuesta. En los índices obtenidos, las variables TE y TC son las de mayor peso, lo que sugiere una mayor importancia de estas mediciones. En la Tabla 2 se observan las contribuciones en términos porcentuales. Con las variables estandarizadas, se controla el peso que puedan entregar las variabilidades marginales. Luego de este análisis, se descarta el uso del segundo componente, puesto que explica menor variabilidad que el primero.

La distribución de los valores estimados de cada índice se muestra en la Tabla 3. Lo más relevante que se puede observar es la posibilidad de proponer además un punto de corte evidente, pues, el 5% de los vehículos de la muestra presentan valores de índice mayores a 2,529 para la I1, 3,073 para la I2 y 3,248 para la I3; clara evidencia que un índice cercano a 3,0 puede ser un valor referencial que permita distinguir si un vehículo está en un riesgo inminente de accidente.

Además, el 5% de los vehículos de la muestra que presentan estos valores, coincide con el valor de $TC < 1,5$ seg, umbral para considerar un conflicto severo respaldado en la bibliografía consultada, sobre todo en las experiencias de Allen et al (1978), Hydén (1987), Van der Horst (1990) y Archer (2005).

Tabla 2. Contribuciones de las variables originales en los índices de riesgo propuestos.

	Contribuciones por índice de riesgo (%)		
	Intersección <i>G78 G374</i>	Intersección 2 <i>G30 G374</i>	Intersección 3 <i>G40 G46</i>
DF	17.26	18.40	16.35
VA	15.95	14.59	16.30
TE	23.05	23.33	23.10
TC	23.00	23.33	23.51
TPI	20.74	20.34	20.74

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Medidas de distribución de los índices de riesgo propuestos.

Intersección	Mínimo	1er. Cuartil	Mediana	Media	3er. Cuartil	Percentil 95	Máximo
<i>G78 G374</i>	-7,919	-1,524	0,557	-1,1e-15	1,455	2,529	3,771
<i>G30 G374</i>	-5,715	-1,281	-0,354	8,1e-16	1,601	3,073	4,569
<i>G40 G46</i>	-5,663	-1,263	-0,384	-2,5e-15	1,673	3,248	4,580

Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinado el índice para cada intersección, se ajustó un árbol por cada una de ellas, etapa considerada como *de entrenamiento*, donde se ajustaron tres modelos cuya respuesta era el valor del índice calculado a partir de las componentes principales. El árbol procederá a utilizar a las variables originales como factores para clasificar a la variable respuesta o índice (Hothorn et al., 2006). Una vez que se dispuso de los tres modelos de árbol, se consideró a las otras dos intersecciones como muestras independientes y se procedió a ajustarlas con los distintos modelos obtenidos en la etapa de entrenamiento (*etapa de validación*). Finalmente se calculan los errores cuadráticos medios asociados a cada índice predicho por los tres modelos de la etapa de entrenamiento. En la Tabla 4, se observan los errores cuadráticos de “predicción”, los cuales se pueden considerar bajos, dado que el índice propuesto toma valores en el rango (-5.0, 5.0). Aunque la información asociada a la I1 entrega errores muy parecidos a la I2, el modelo y datos de esta última intersección será el utilizado para el proceso de construcción del árbol de decisión del riesgo de carácter cualitativo.

El árbol de clasificación seleccionado para clasificar el índice de riesgo se muestra en la Figura 3. Note la importancia que presenta la variable TC en la clasificación del riesgo del índice. Las otras variables que permiten determinar el nivel cuantitativo de riesgo son TE y TPI. El efecto “a mayor valor del índice, mayor es el riesgo en la intersección” se puede observar inicialmente en el árbol de I2 (Figura 3), pues cuando $TC \leq 3,25$ [s], $TC \leq 2,12$ [s] y $TC \leq 1,47$ [s], el índice toma valores mayores a 3, que equivale al 5,2% del total de conflictos en la muestra de entrenamiento. Si $TC > 1,47$ [s], los valores del índice muestran un riesgo relativamente alto, pues toma valores

entre 2,0 y 3,0. En esta etapa, TE y TPI son variables potenciales para clasificar índices que no explican un “muy alto riesgo”.

Tabla 4. Error cuadrático medio del índice de riesgo, según la base de datos ajustada.

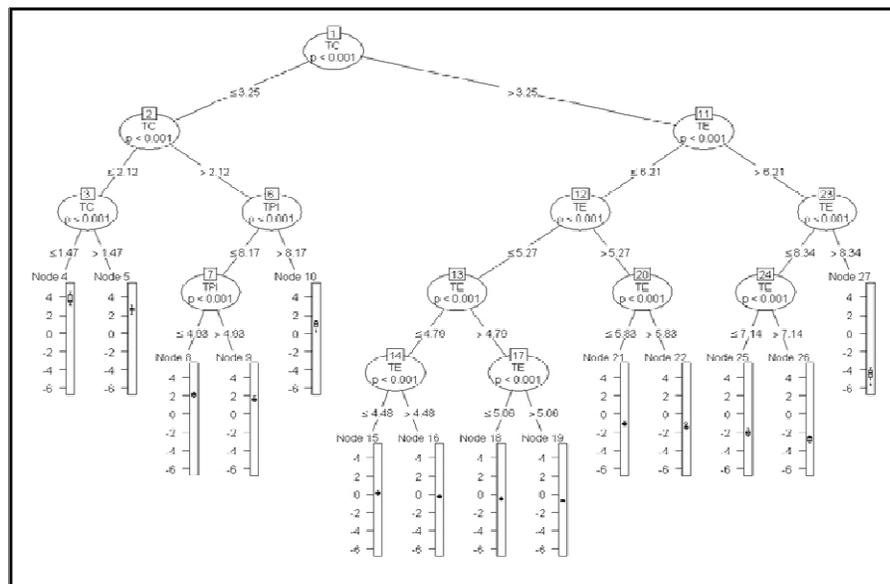
Error cuadrático medio	Predicción		
Observado	Predicción		
Intersección	G78 G374	G30 G374	G40 G46
G78 G374	0.040	0.134	0.340
G30 G374	0.137	0.046	0.290
G40 G46	0.148	0.163	0.089

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Modelo de clasificación cualitativo del riesgo de las intersecciones

En este punto se clasifica el riesgo de las intersecciones de una manera más simple y parsimoniosa. De los 14 grupos resultantes en el modelo cuantitativo (Figura 3), se procedió a construir una nueva variable respuesta asociada a sólo 2 grupos. El criterio fue categorizar el índice anterior considerando los diversos resultados obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo y la bibliografía existente. La categorización se realizó en base a la clasificación obtenida para el grupo de más alto riesgo y se aplicó la metodología de Hothorn et al. (2006) para construir un árbol, denominado en este caso de Clasificación, puesto que la respuesta es cualitativa. Es así como los valores de Índice ≥ 3 y TC $\leq 1,47$ [s], son de referencia para clasificar un evento en la intersección como de riesgo alto de accidente. Esta categorización es respaldada por investigaciones anteriores, pues se señala que el valor umbral de TC que indica un riesgo elevado de ocurrencia de una colisión es de 1,5 segundos.

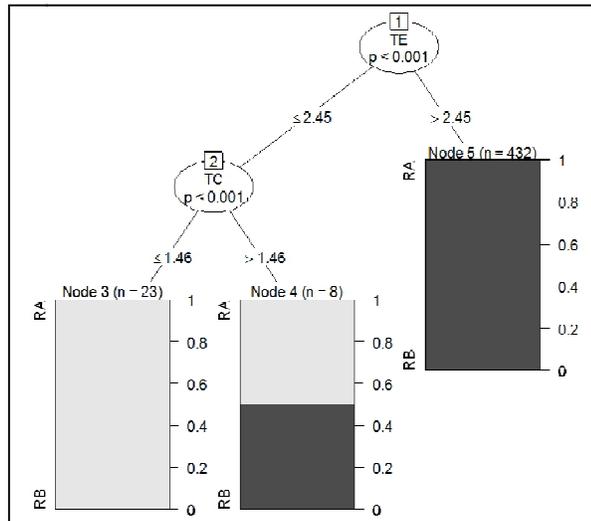
Figura 3. Árbol de clasificación índice cuantitativo del riesgo Intersección I2.



Fuente: Software R2.

Se establecieron las categorías “riesgo alto de accidente” (RA), correspondiente a un Índice ≥ 3 y $TC \leq 1,47$ [s], y “riesgo bajo de accidente” (RB), correspondiente a un Índice < 3 y $TC > 1,47$ [s], dando como resultado el ajuste de un árbol de clasificación cualitativa con respuesta binaria (Figura 4).

Figura 4. Árbol de clasificación cualitativo del riesgo para la intersección I2.



Fuente: Software R2.

Del árbol de respuesta binaria resultante, se puede comentar que sólo las variables TC y TE forman parte del modelo. Si se tienen valores de $TE > 2,45$ [s] el riesgo de accidente es bajo. Por el contrario, para $TE \leq 2,45$ [s] y $TC \leq 1,46$ [s] el riesgo de accidente es alto. Para $TE \leq 2,45$ [s] y $TC > 1,46$ [s] existe un grupo no asociado directamente a las clasificaciones RA o RB y que representa una categoría de incertidumbre, pues el 50% de ellas presentarían alto riesgo de accidente. Un porcentaje de estas observaciones son candidatas a ser mal clasificadas.

Técnicamente, del total de conflictos observados con las clasificaciones RA y RB, se calculó una tasa de clasificación incorrecta para cada intersección. La Tabla 5 muestra los porcentajes de clasificación incorrecta estimados al clasificar los datos de cada intersección, alcanzando a lo más un 2,5%, producida en la I1, del total de observaciones registradas en cada uno de los cruces en estudio, siendo un valor razonable para este árbol de respuesta binaria.

Para una mayor comprensión de los grupos creados por la categorización del modelo de clasificación cualitativo, se presentan los gráficos de dispersión TC v/s Índice de Riesgo y TE v/s Índice de Riesgo para la I2 en la Figura 5. En ella se observan los dos grupos de riesgo generados por los puntos de corte del árbol de clasificación cualitativo, teniendo en consideración que existe un 0,87% de observaciones mal clasificadas (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de clasificación incorrecta de los datos de cada intersección con el árbol de respuesta binaria.

Intersección	Base Predicha		
	<i>G78 G374</i>	<i>G30 G374</i>	<i>G40 G46</i>
Total observaciones	635	463	591
N° mal clasificadas	16 (RB: 16; RA: 0)	4 (RB: 4; RA: 0)	13 (RB: 2; RA: 11)
Mal clasificadas (%)	2,5	0,87	2,2

Fuente: Elaboración propia.

6. DISCUSIÓN

La metodología propuesta para la construcción del Índice de Riesgo de la Intersección, resulta ser una herramienta útil para resumir el conjunto de mediciones obtenidas usando la Técnica de Conflictos de Tráfico. Esto permitió el diagnóstico de la seguridad vial en cada intersección. Su mayor utilidad está relacionada con la interpretación de la nueva variable indicadora, pues en este estudio, se pudo asociar la primera componente principal al riesgo de la intersección, donde cada medición alternativa de seguridad que forma parte del índice, tiene un peso representativo en relación a su importancia en el riesgo de la intersección.

A partir de la importancia de TE dentro de los índices de riesgo, fue posible probar que ésta es una medición alternativa de seguridad que puede ser utilizada para diagnosticar el riesgo de una intersección, siendo una característica significativa que introduce la percepción de la seguridad de un conductor al acercarse a un cruce. Así, se pudo determinar que los valores más altos del índice de riesgo están relacionados a un mayor riesgo de que un conflicto termine en accidente, mientras que valores bajos indican un menor riesgo.

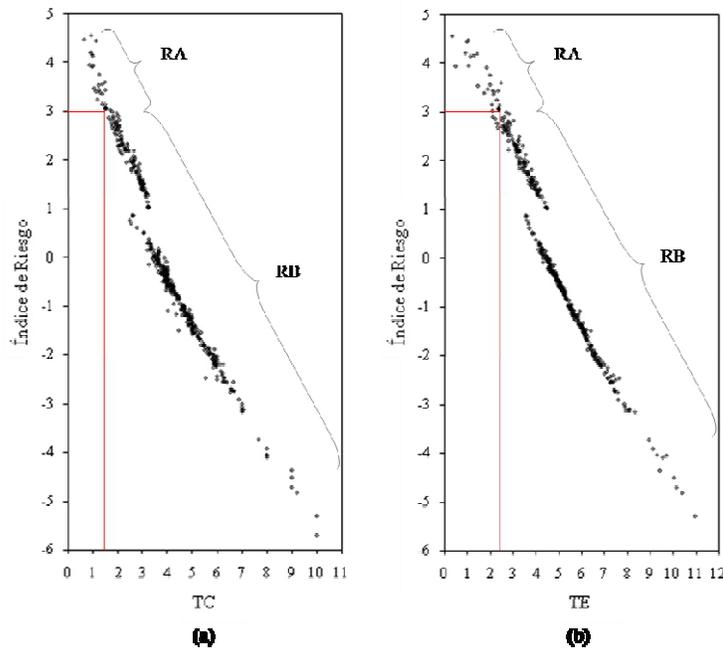
Del modelo resultante (Figura 3) se observa que sólo las mediciones de tiempo TE, TC y TPI influyen en la clasificación del índice para nuevos datos, esto se explica dado que estas variables reúnen implícitamente la información asociada a DF y VA del vehículo en un conflicto. Con lo cual el algoritmo de creación del modelo elimina las variables DF y VA, considerándola información redundante. A partir de este modelo fue posible identificar los distintos grupos de riesgo generados. En el primer nodo, se dividen hacia la izquierda aquellas observaciones que presentan índices de riesgo positivos y hacia la derecha negativos, asociándose a grupos de mayor y menor riesgo, respectivamente. Por ende, la partición inicial genera una adecuada clasificación en términos de simplificar la identificación de dos grandes grupos de riesgo.

A partir de las dos ramas principales se generaron nuevas particiones, que finalmente terminan en 14 grupos de clasificación. Esta gran cantidad de grupos dificulta el asociarlos a un nivel de riesgo específico, ya que impide una interpretación práctica de cada uno de ellos. Sin embargo, su importancia radica en que a través de este análisis fue posible identificar el grupo de “más alto riesgo” dentro de los datos y las condiciones que deben cumplir los conflictos para formar parte de éste, Índice ≥ 3 y TC $\leq 1,47$ [s], siendo esta última variable la que mejor clasifica a los conflictos con más altos índices de riesgo. El porcentaje de casos que son considerados dentro de este grupo asciende al 5,2% de todos los conflictos.

El modelo de clasificación cualitativo construido a partir de un índice de respuesta binaria, hace más práctica la clasificación encontrada con el árbol de clasificación cuantitativo, pues permite asociar cada conflicto a sólo dos grupos específicos de riesgo. De esta forma se identificó el grupo de los conflictos más graves como aquellos asociados a un alto riesgo “Riesgo Alto de accidente”, y aquel grupo cuya cualidad es presentar un bajo riesgo “Riesgo Bajo de accidente”. La primera categoría binaria (RA) corresponde al grupo de más alto índice en el modelo cuantitativo y la segunda categoría binaria (RB) reúne los trece grupos restantes.

La equivalencia entre los puntos de corte obtenidos para TE y TC, puede ser reafirmada mediante la observación de los gráficos de dispersión de la Figura 5, en los cuales se distingue la similitud de los grupos generados con un valor crítico de TC = 1,46 [s] y un TE = 2,45 [s], ya sea RA o RB, cuya discontinuidad coincide con un quiebre estructural de los datos. Por último, el validar el TE como medición alternativa de seguridad, permite simplificar la evaluación del riesgo de las intersecciones estudiadas, puesto que el cálculo de TE sólo requiere la medición de la VA y DF determinadas en terreno, sin la necesidad de realizar el análisis de una línea temporal de sucesos para cada conflicto de tráfico.

Figura 5. Gráficos de dispersión Índice de Riesgo versus a) Tiempo hasta la Colisión (TC)³, b) Tiempo de Evasión (TE)⁴.



Fuente: Software R2.

³ Punto de corte: Índice = 3,0 y TC = 1,46

⁴ Punto de corte: Índice = 3,0 y TE = 2,45

7. CONCLUSIÓN

Los modelos de clasificación cuantitativo y cualitativo entregan criterios que permiten tomar decisiones del riesgo que presenta una intersección, en base a puntos de corte adecuados, y aplicar el mismo modelo a la información de las otras intersecciones con tasas de error pequeño.

Debido a esto, se ratifica que el modelo de la Intersección I2 se ajusta también para las otras intersecciones estudiadas, por lo que este modelo y sus valores críticos son representativos para intersecciones en forma de T con características similares a las utilizadas en este estudio. De la misma forma, la metodología utilizada, puede ser aplicada en la creación de modelos de clasificación del riesgo en cualquier intersección que permita determinar las variables DF, VA, TE, TC y TPI en conflictos de tráfico. En trabajos posteriores y sobre la base de nuevas mediciones en otras intersecciones en “T”, se efectuará el ajuste del índice propuesto en esta primera etapa exploratoria.

Una ventaja identificada para estos modelos, es la evaluación del riesgo de una intersección luego de la mejora en cuanto a infraestructura y/o dispositivos de control de tráfico, al igual que un análisis Antes - Después, pero sin realizar una comparación mediante la ocurrencia de accidentes, sino que considerando sólo conflictos de tráfico. Esto se realiza comparando la variación del porcentaje de conflictos que son clasificados con “Riesgo alto de accidente”, luego de efectuada la mejora en la intersección.

Aunque los modelos creados permitan la clasificación de los conflictos como alto o bajo riesgo de accidentes, sería necesario un estudio que pueda asociar la cantidad de conflictos pertenecientes al grupo “Riesgo alto de accidente”, con la interpretación de una intersección segura o insegura. Sin embargo, este estudio propone la posibilidad de evaluar la seguridad de las intersecciones en términos comparativos a través del modelo de clasificación cualitativo.

Para futuras investigaciones asociadas al análisis realizado en el presente trabajo, se recomienda, determinar la efectividad de los modelos en la evaluación de la seguridad, a través del Tiempo de Evasión medido en aquellos eventos que no corresponden a conflictos de tráfico, y estudiar la correspondencia entre el índice creado y los conflictos de alto riesgo, con los accidentes que se puedan registrar en la intersección. Por otro lado, es recomendable realizar mediciones en intersecciones de diferente tipología, en cuanto a geometría (en cruz) y dispositivos de control de tráfico (semaforizadas), y analizar el comportamiento del modelo propuesto.

8. REFERENCIAS

Allen, Shin y Cooper (1978) “Analysis of Traffic Conflicts and Collisions” Transportation Research Record 667, pags. 67 – 74. Transportation Research Board, Estados Unidos.

Almqvist, S. y Hydén, C. (1994) “Métodos para valorar la seguridad en el tráfico en países en desarrollo” Building Issues Vol. 6 N° 1, págs. 3 – 21.

Archer, J.(2005). “Indicators for traffic safety assessment and prediction in micro-simulation modeling: a study of urban and suburban intersections. Tesis Doctoral. Royal Institute of Technology, Suecia.

Brown, G. y Cooper, p. (1990) Role of conflicts in traffic analysis. Workshop of International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety, p. 116 – 122. Cracow, Poland.

Gettman, D. y Head, L. (2003) Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models, Final Report. Publication N° FHWA-RD-03-050. U.S. Department of Transportation.

Glauz, W. y Migletz, D. J. (1982) “Traffic Conflicts Techniques for use at intersections” Transportation Research Record 770, pags. 21 – 29. Transportation Research Board, Estados Unidos.

Hayward, J. C. (1972) “Near-Miss Determination Through Use of a Scale of Danger” Report TTSC-7115. University Park, The Pennsylvania State University.

Hothorn, T., Hornik, K, Zeileis, A. (2006). Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. Journal of Computational and Graphical Statistics, 15(3), 651-674.

Hydén, C. (1987) The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: the Swedish Traffic Conflicts Technique. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund Institute of Technology, University of Lund, Sweden

Perkins, S. y Harris, J. (1968) Traffic Conflicts Characteristics – Accident Potencial at Intersections. General Motors Research Laboratories.

Peña, D. (2002) Análisis de Datos Multivariantes. McGraw Hill Interamericana de España.

Strasser, y Weber, (1999). On the Asymptotic Theory of Permutation Statistics. Mathematical Methods of Statistics, 8, 220–250.

Van Der Horst, R. (1990) A time-based analysis of road user behaviour at intersections. Institute for Perception RVO-TNO. Soesterberg, Netherlands.

Zeeger, C. y Parker, M. (1988a) Traffic Conflict Techniques for safety and operations – engineers guide. (FHWA – IP – 88 – 026). U.S. Department of Transportation.

Zeeger, C. y Parker, M. (1988b) Traffic Conflict Techniques for safety and operations – observers manual. (FHWA – IP – 88 – 027). U.S. Department of Transportation.