

ACCIDENTALIDAD CICLISTA Y RIESGO: EL CASO DE SEVILLA

Ricardo Marqués^{1,2} y Vicente Hernández-Herrador²

⁽¹⁾ Universidad de Sevilla.

⁽²⁾ "A Contramano: Asamblea Ciclista de Sevilla."

RESUMEN

Esta comunicación analiza el riesgo de circular en bicicleta en la ciudad de Sevilla, definido como el número de accidentes que involucran al menos una bicicleta y un vehículo a motor por millón de desplazamientos en bicicleta. Del análisis se deduce un gran impacto positivo en la seguridad de los ciclistas de la creación, a partir del año 2007, de una red de vías ciclistas segregadas del tráfico motorizado. Esta correlación se expresa mediante una relación lineal con proporcionalidad negativa entre el incremento relativo del riesgo y el incremento de la longitud de la red de vías ciclistas. Se discute también el papel de la "seguridad por el número", concluyéndose que se cumple de manera bastante aproximada en el caso estudiado, lo que proporciona además una relación de proporcionalidad positiva entre la extensión de la red de vías ciclistas y el incremento relativo del número de desplazamientos. Finalmente, se discute la evolución de otros accidentes, distintos de las colisiones con vehículos a motor, registrados en la ciudad antes y después de la implantación de la red de vías ciclistas.

1.-INTRODUCCIÓN:

En los últimos años ha causado cierta alarma social el incremento de la accidentalidad ciclista en España, si bien es cierto que dicho incremento se ha limitado fundamentalmente a los accidentes leves en el ámbito urbano. Este hecho, sin embargo, puede no ser significativo de un aumento del riesgo de circular en bicicleta, dado que también existen evidencias, indirectas en la mayoría de los casos, de un aumento sustancial del ciclismo urbano en muchas ciudades españolas.

Un ejemplo claro de ello podría ser la ciudad de Sevilla, donde el ciclismo utilitario ha experimentado un notable incremento en paralelo a la creación de una red de vías ciclistas segregadas del tráfico motorizado (Marqués et al., 2015). Dado que en la ciudad de Sevilla se dispone de datos fiables relativos al uso de la bicicleta en la ciudad, la determinación del riesgo de circular en bicicleta, definido como el cociente entre el número de accidentes y el volumen del tráfico ciclista, puede arrojar luz sobre la cuestión arriba planteada. Otra cuestión sobre la que puede arrojar luz dicho análisis es la controversia acerca del impacto real en la seguridad vial de las redes de vías ciclistas segregadas (Forester, 2001; Pucher, 2001). También puede arrojar luz sobre el debate acerca del papel de la "seguridad por el número" (Jacobsen, 2003), en especial acerca de si es el "número" el que crea la seguridad o es la "seguridad" la que provoca el aumento del número, o ambos efectos a la vez (Wegman et al., 2012).

La comunicación que presentamos lleva a cabo un análisis del riesgo de circular en bicicleta por Sevilla, definido como el número de accidentes en los que están involucrados al menos una bicicleta y un vehículo a motor, por millón de desplazamientos

en bicicleta. Se analiza dicho riesgo en función de la extensión de la red de vías ciclistas y del número de desplazamientos en bicicleta. La metodología utilizada es el análisis de regresión de series de datos, ampliamente utilizado en este tipo de estudios. Se trata de una metodología muy accesible, que puede implementarse con la ayuda de herramientas de cálculo de fácil manejo y de libre disposición. De este modo, la metodología utilizada puede replicarse en muchas ciudades españolas por grupos de usuarios de la bicicleta interesados en determinar el riesgo de circular en bicicleta por sus ciudades, siempre que se disponga de los datos necesarios.

Los resultados del análisis concreto del caso de Sevilla indican una gran disminución del riesgo de circular en bicicleta que puede explicarse en gran medida por la creación de la red de vías ciclistas, cumpliéndose además la teoría de Jacobsen de la “seguridad por el número”, tanto cualitativa como cuantitativamente. En las siguientes secciones estos resultados serán expuestos y discutidos en profundidad.

2.- DATOS BÁSICOS

Los datos de accidentalidad ciclista en la ciudad de Sevilla utilizados en esta comunicación son los que se deducen del análisis de los microdatos de accidentalidad proporcionados por la DGT a lo largo de los años 2000-2013, es decir 7 años antes y 7 años después de que se implantase la actual red de vías ciclistas de la ciudad (Marqués et al., 2015). Estos datos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Accidentes registrados que involucraron bicicletas en la ciudad de Sevilla durante el periodo 2000-2013, con indicación de los vehículos implicados. También se muestran los km de vías ciclistas, los millones de desplazamientos anuales en bicicleta y el riesgo calculado para las colisiones con vehículos a motor.

	Accidentes que involucran bicicletas					Km de vía ciclista	Millones de desplazamientos anuales	Riesgo bicicleta motorizado
	Total accidentes	Bicicleta Motorizado	Bicicleta Bicicleta	Bicicleta Peatón	Bicicleta sola			
2000	54	52	0	2	0	12	3,06	17,02
2001	65	64	0	0	1	12	3,06	20,95
2002	54	53	0	1	1	12	3,06	17,35
2003	59	58	0	1	0	12	3,06	18,99
2004	57	54	0	0	3	12	3,06	17,68
2005	42	38	0	1	3	12	3,06	12,44
2006	56	48	1	2	5	12	3,06	15,71
2007	56	48	1	2	5	77	6,49	7,40
2008	82	68	3	4	7	92	9,28	7,33
2009	139	117	6	9	7	105	13,98	8,37
2010	134	109	4	12	9	120	16,17	6,74
2011	93	81	3	5	4	133	17,04	4,75
2012	86	72	4	7	3	144	16,97	4,24
2013	126	100	5	7	14	152	16,33	6,12

La tabla muestra también los km de vías ciclistas (Marqués et al., 2015) y los millones de desplazamientos anuales en bicicleta. El cálculo de los millones de desplazamientos anuales está basado en los análisis realizados en la Universidad de Sevilla (SIBUS, 2012; SIBUS, 2014) según una metodología que se basa en la determinación del porcentaje de desplazamientos en el sistema de bicicletas públicas de la ciudad (Sevici) sobre el total de desplazamientos, a través de conteos en emplazamientos significativos a lo largo de la ciudad. A partir de este porcentaje y del número conocido de alquileres de Sevici, se deduce el número total de desplazamientos en bicicleta mediante una simple “regla de

tres”. Para los años anteriores a 2011, el número de desplazamientos se ha estimado a partir de los conteos realizados con anterioridad por el Ayuntamiento, mediante una extrapolación (spline) del índice medio diario (IMD) de tráfico ciclista detectado en dichos conteos (Marqués et al., 2015). Para los años anteriores a la creación de la red de vías ciclistas, en 2006, se ha estimado un número de desplazamientos similar la de dicho año, ya que ésta última estimación está basada en un conteo realizado cuando la red aun no se había creado. Dicha estimación es coherente, en orden de magnitud, con el 0,6% de reparto modal para la bicicleta estimados en la ultima encuesta de movilidad previa a 2006 que consideró tales desplazamientos de modo independiente (Junta de Andalucía, 1990) y con la estimación del 5,6% realizada por los autores en 2011 (SIBUS, 2012).

De la tabla se deduce que, en todo el periodo considerado, las colisiones con vehículos a motor son los accidentes mas comunes, lo que está de acuerdo con los análisis generales de accidentalidad en zona urbana (Dirección General de Tráfico, 2010). Estos accidentes son también los mas graves según la misma publicación. También son aquellos para los que su registro por la policía de tráfico cabe suponer es mas eficiente y regular a lo largo de los años estudiados. Por tanto, hemos decidido definir el riesgo a partir de dichos accidentes, como el número de accidentes con al menos una bicicleta y un vehículo de motor implicados, por millón de desplazamientos en bicicleta. Dicha definición facilita también la comparación de los resultados obtenidos con la teoría de la “seguridad por el número” (Jacobsen, 2013).

La Figura 1 muestra, en unidades arbitrarias, la evolución del número de colisiones con vehículos a motor, del número de desplazamientos en bicicletas y del riesgo asociado. Puede observarse como, pese a que el número total de colisiones crece en el periodo considerado, el riesgo disminuye, lo que cabe considerar como una comprobación cualitativa de la teoría de la “seguridad por el número”.

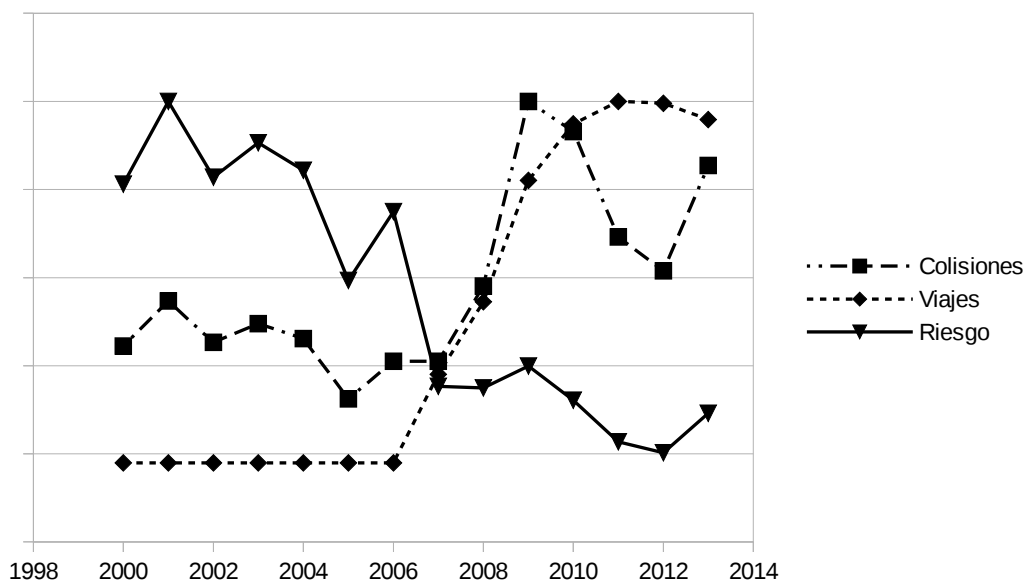


Figura 1: Evolución de las colisiones entre bicicletas y vehículos a motor, del número total de desplazamientos y del riesgo asociado. Unidades arbitrarias (máximo = 1).

3.- ANÁLISIS

En esta sección llevaremos a cabo un análisis de los datos aportados en la sección anterior, de modo que podamos apreciar las relaciones entre la evolución del riesgo y la evolución del número total de desplazamientos (seguridad por el número) y la longitud de la red de vías ciclistas, estimando el valor explicativo de dichas variables en función de los diferentes modelos. El análisis puede llevarse a cabo utilizando herramientas de software libre, en concreto la hoja de cálculo de libre office, mediante sus funciones de “estimación lineal” y “estimación logarítmica”. Finalmente haremos un breve análisis de los demás accidentes, diferentes de las colisiones con vehículos a motor.

3.1: Análisis de la relación del riesgo con el número de desplazamientos.

La teoría de la seguridad por el número establece una relación no lineal entre el riesgo y el número de desplazamientos del tipo (Jacobsen, 2003):

$$R = a D^b \quad (1)$$

donde R es el riesgo, D es la exposición el riesgo (en nuestro caso los millones de desplazamientos al año), a es una constante que depende del entorno geográfico y b es un exponente que la teoría evalúa en torno a $b=-0,6$. Para verificar la teoría en nuestro caso, transformaremos la ecuación (1) en una ecuación entre logaritmos:

$$\log(R) = \log(a) + b \log(E) \quad (2)$$

y utilizaremos la función estimación lineal para determinar los coeficientes $\log(a)$ y b en (2). Una vez determinados a y b estimaremos R usando (1). El resultado de la estimación lineal es:

$$\log(a) = 1,54 \pm 0,06 \quad ; \quad b = -0,65 \pm 0,07 \quad (3)$$

dado que el valor “0” queda fuera del intervalo de error de ambos coeficientes, podemos afirmar con un alto grado de confianza que existe una correlación entre el riesgo y el número de desplazamientos. El coeficiente de correlación r^2 que proporciona el programa es próximo a “1” ($r^2 = 0,88$) lo que indica que esta correlación es alta. Finalmente, el valor del coeficiente b , próximo a $-0,6$, indica que la teoría de la seguridad por el número se cumple en nuestro caso con un alto grado de aproximación.

La ecuación (2) con los valores de a y b calculados a partir de (3) nos da el comportamiento de R que se muestra en la Figura 2. La estimación constante del riesgo entre 2000 y 2006 se debe a la hipótesis realizada sobre el número de desplazamientos antes de 2006. Tanto antes de 2006 como a partir de 2006 la estimación resulta visualmente muy aproximada, lo que refuerza la conclusión de que la teoría de la seguridad por el número se cumple en nuestro caso.

Ahora bien, la existencia de una correlación entre el riesgo y el número de desplazamientos no implica necesariamente un vínculo causal entre ambos. De hecho, como han sugerido algunos autores (Wegman et al., 2012), sería también razonable suponer que el vínculo causal se produce en la dirección opuesta. Según esta

interpretación, no habría mas seguridad en las calles porque hay mas ciclistas, sino que habría mas ciclistas en las calles porque hay mas seguridad. Es necesario, por tanto, explorar otras posibles correlaciones antes de llegar a una conclusión definitiva.

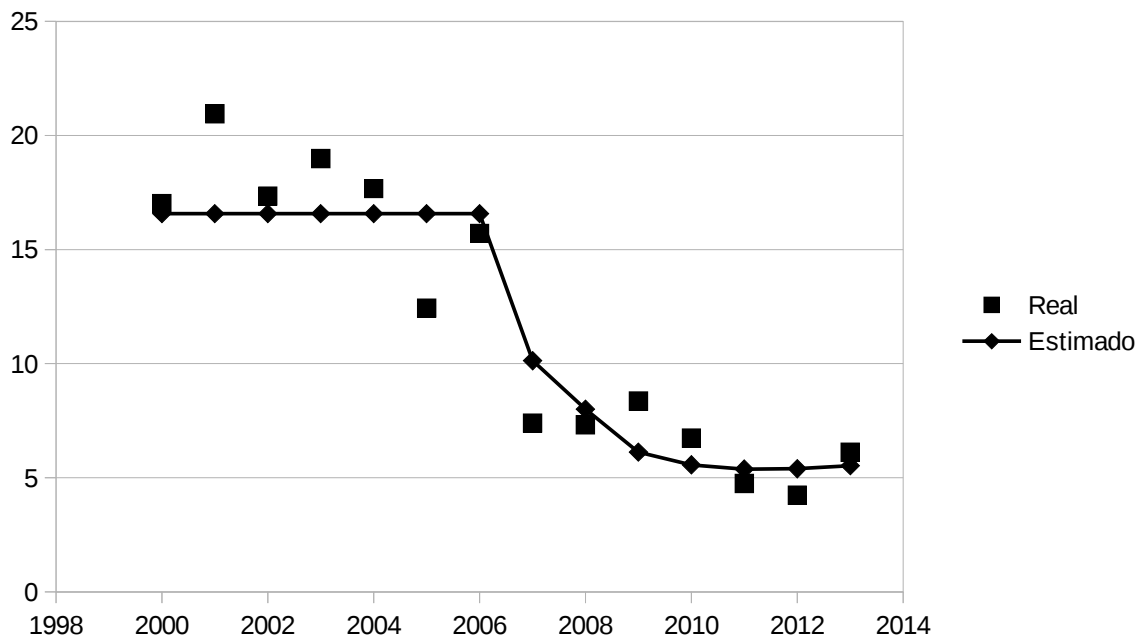


Figura 2: Valores reales (Tabla 1) y estimados (Eq. 1) del riesgo de circular en bicicleta utilizando los coeficientes (3) que se deducen de la teoría de estimación lineal aplicada a la ecuación (2).

3.2.- Análisis de la dependencia con la longitud de la red de vías ciclistas.

El modelo mas sencillo para analizar la dependencia con la extensión de la red de vías ciclistas es una dependencia lineal del tipo:

$$R = a + b L \tag{4}$$

donde R es el riesgo, L la longitud de la red ciclista (en km) y a, b dos coeficientes que se pueden determinar con la ayuda de la función “estimación lineal” de la hoja de cálculo. El resultado de dicha estimación da la dependencia:

$$R = 17,96 \pm 0,95 - 0,095 \pm 0,011 L \tag{5}$$

con un coeficiente de determinación $r^2 = 0,86$, similar al de la sección anterior.

Los resultados de dicha estimación se muestran en la Figura 3, donde se puede observar una buena concordancia entre los datos de riesgo de la Tabla 1 y la estimación. Este modelo, no obstante, tiene el inconveniente de que para valores grandes de L , del orden de 200 km, llega a dar valores negativos de R , lo que obviamente no tiene sentido. Si tenemos en cuenta que la longitud de la red ciclista era ya de 152 km en 2013, concluiremos que el valor predictivo del modelo es bastante escaso.

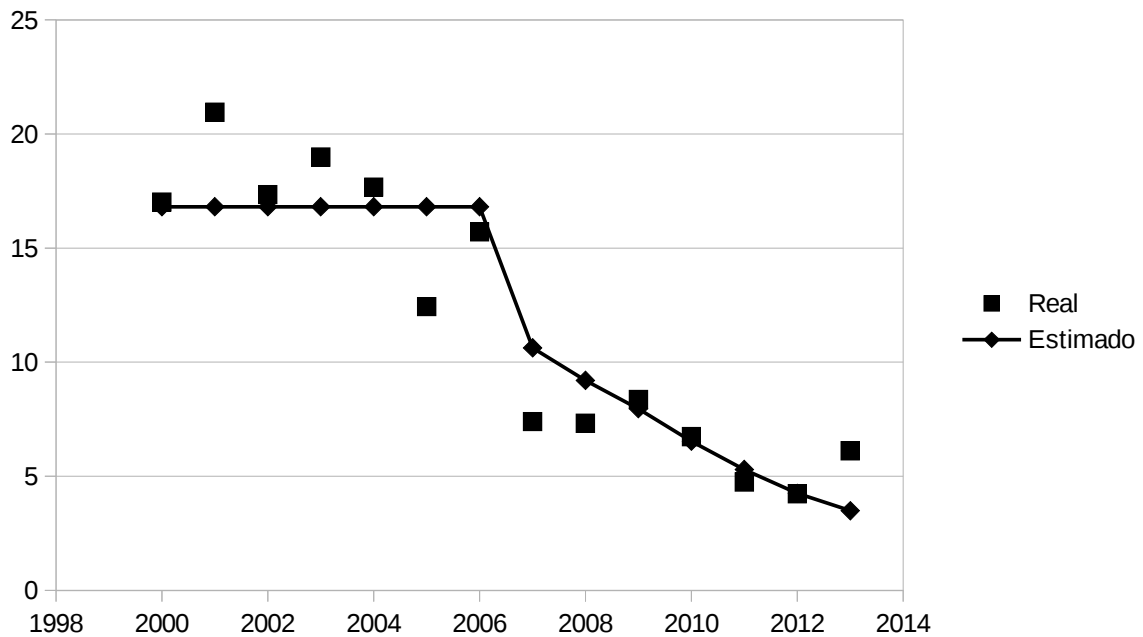


Figura 3: Valores reales (Tabla 1) y estimados (5) del riesgo de circular en bicicleta.

Para evitar este inconveniente, los autores han propuesto un modelo en el que la estimación lineal (4) se completa con la introducción de una función “salto”, igual a “0” en el periodo 2000-2006 e igual a “1” en el periodo 2007-2013, con la que se pretende modelar el efecto de la creación de la propia red entre 2006 y 2007 (Marqués & Hernández-Herrador, 2017). En el mencionado trabajo se demuestra que la introducción de este término mejora sustancialmente el modelo, aumentando notablemente la exactitud de la estimación y resolviendo parcialmente el inconveniente indicado.

En este trabajo introduciremos otro modelo, utilizando la función “estimación logarítmica” de la hoja de cálculo. Dicho modelo postula una relación entre el riesgo y la longitud de la red de vías ciclistas del tipo:

$$R = A m^L \tag{6}$$

donde A y m son coeficientes a determinar. Se demuestra que este modelo es equivalente a una relación lineal entre el incremento relativo del riesgo $\Delta R/R$ y el incremento de la longitud de la red de vías ciclistas ΔL (en km):

$$\Delta R/R = \ln(m) \Delta L \tag{7}$$

donde $\ln()$ es la función “logaritmo neperiano” que, para valores de m menores que la unidad se hace negativa, indicando un descenso del riesgo por cada incremento de la longitud de la red. La ecuación (6) tiene la ventaja de que, para valores grandes de L y valores de m menores que la unidad, predice un lento descenso del riesgo a medida que la red se extiende, pero sin llegar nunca a hacerse negativo, lo que sería absurdo como ya hemos visto. Por otra parte, para valores de $L=0$, el riesgo se hace igual a A , de modo que el coeficiente A hay que interpretarlo como el valor que adquiere el riesgo en

ausencia de vías ciclistas.

La interpretación de la ecuación (7) es que el incremento de riesgo es proporcional a la longitud de las vías ciclistas y al propio riesgo, no solo a la longitud de las vías ciclistas, como se deduciría de la ecuación (4). De modo que, para valores pequeños del riesgo, el incremento del riesgo será también pequeño, lo que asegura que el riesgo no tomará nunca valores negativos. Este comportamiento es lógico, ya que los riesgos pequeños son difíciles de reducir.

La estimación del riesgo (6) utilizando la función estimación logarítmica lleva a la expresión:

$$R = (18,6 \pm 0,07) \times (0,9909 \pm 0,0008)^L \quad (8)$$

que al ser $m < 1$ y estar el valor $m=1$ fuera del intervalo de error del coeficiente m , indica una estimación estadísticamente significativa y un paulatino descenso del riesgo con la longitud de la red de vías ciclistas. El coeficiente de determinación del modelo es $r^2=0,91$, superior al de los dos modelos anteriores, lo que indica una mayor exactitud de las predicciones del modelo propuesto. La Figura 4 muestra de manera gráfica los resultados del modelo.

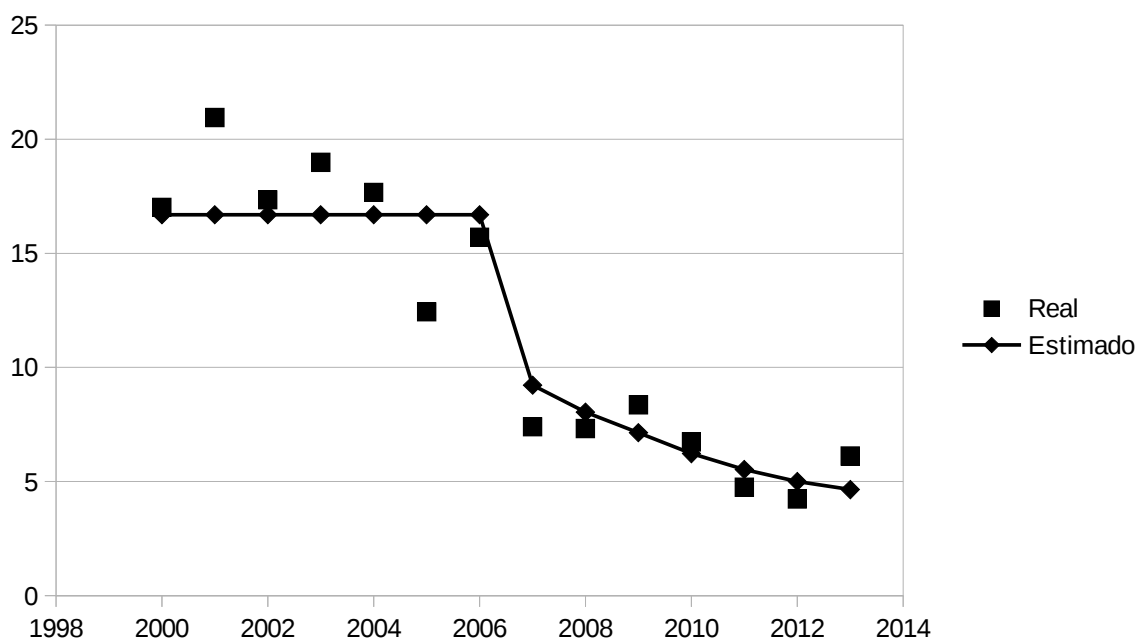


Figura 4: Valores reales (Tabla 1) y estimados (8) del riesgo de circular en bicicleta.

En lo que respecta al vínculo causal entre la longitud de las vías ciclistas y el riesgo de circular en bicicleta, es evidente que, en este caso, la causa es la longitud de la red de vías ciclistas y el efecto la disminución del riesgo, pues no cabe pensar que la reducción de éste precediese a la decisión política de crear la red

Otra característica importante de este modelo es que, combinado con el modelo de seguridad por el número propuesto anteriormente (1), proporciona una estimación de la evolución del número de desplazamientos en bicicleta según la expresión:

$$D = (A/a)^{1/b} m^{L/b} \quad (9)$$

donde los coeficientes a , A , m y b son los que aparecen en las ecuaciones (1) y (6). De este modo, el modelo propuesto serviría también para estimar el número de desplazamientos totales en bicicleta como función de la longitud de la red de vías ciclistas. La expresión (9) es, en realidad, una variante de la estimación logarítmica, similar a (6), $D=Bn^L$, con $B=(A/a)^{1/b}$ y $n=m^{1/b}$. El cálculo de los coeficientes B y n utilizando la subrutina de estimación logarítmica, corrobora esta conclusión.

3.3.- Análisis del riesgo asociado a otros tipos de accidentes.

Como se muestra en la Tabla 1, el número de accidentes registrados, distintos de las colisiones con vehículos a motor, es demasiado pequeño como para llevar a cabo un análisis anual de los datos similar al desarrollado en las secciones anteriores para las colisiones con vehículos a motor. Por tanto nos limitaremos a hacer un análisis del riesgo global para los periodos 2000-2006 y 2006-2007. En este caso el riesgo se calcula como el número total de accidentes para las diferentes tipologías de accidentes, dividido por el total de desplazamientos en el periodo en millones. Los resultados se muestran en la Tabla 2

Tabla 2: Riesgo de accidente (solo accidentes registrados) entre bicicletas y bicicletas, bicicletas y peatones y bicicletas solas (caídas) para los periodos 2000-2006 y 2007-2011

	2000-2006	2007-2013
Riesgo bicicleta	0,05	0,27
Riesgo peatón	0,33	0,48
Riesgo caída	0,61	0,51

Como era de esperar a partir de los propios datos de la Tabla 1, los riesgos asociados a estos tipos de accidentes son muy inferiores a los riesgos asociados a las colisiones con vehículos a motor. Además, la gravedad de los accidentes es, en general, menor. Llama la atención de todos modos el notable incremento relativo de las colisiones con otras bicicletas. También hay un ligero incremento en el riesgo de colisión con peatones. Ello es lógico, dado que la configuración de las vías ciclistas segregadas implica una mayor proximidad entre los ciclistas y también entre ciclistas y peatones. El riesgo de caída, en cambio, parece haber disminuido, pese a las numerosas quejas de los ciclistas respecto del escaso coeficiente de rozamiento del pavimento de las vías ciclistas.

Los datos mostrados en la Tabla 2 deben, no obstante, tomarse con precaución, ya que la tasa de registro de este tipo de accidentes por la policía local suele ser muy baja (Elvik & Mysen, 1999), llegando a ser hasta de un 10% para los accidentes menos graves. Aún así, incluso suponiendo una tasa de registro global del 10%, los índices de riesgo que cabría deducir de la Tabla 2 en ningún caso superarían, en orden de magnitud, los índices de riesgo calculados para colisiones con vehículos a motor y, en todo caso, la gravedad de los accidentes sería incomparablemente menor.

4.- CONCLUSIONES

A lo largo de este estudio hemos descrito y analizado el riesgo de circular en bicicleta por Sevilla, definido como el número de accidentes por millón de desplazamientos en bicicleta, a lo largo del periodo 2000-2013. Para los accidentes que implicaban bicicletas y vehículos a motor se ha llevado a cabo un análisis estadístico de las cifras anuales de riesgo, basado en las técnicas de regresión simple, tanto lineal como logarítmica. Para el resto de los accidentes solo se ha podido llevar a cabo un análisis preliminar dado el escaso número de accidentes registrados.

Se ha demostrado que el riesgo de colisión con un vehículo motorizado ha disminuido de manera drástica tras la aparición de la red de vías ciclistas segregadas en 2007, de manera simultánea también al incremento de desplazamientos en bicicleta. El análisis de regresión de los datos anuales ha mostrado que este descenso cumple la teoría de la seguridad por el número (Jacobsen, 2003) de forma tanto cualitativa como cuantitativa.

Asimismo, los modelos que relacionan el descenso de dicho riesgo con la longitud de la red de vías ciclistas explican razonablemente bien este efecto, siendo el modelo más satisfactorio de todos (incluyendo el modelo de Jacobsen) el que establece una relación exponencial entre el riesgo y la longitud de la red de vías ciclistas. Este modelo puede interpretarse también como la existencia de una relación de proporcionalidad entre el descenso relativo del riesgo y el incremento absoluto de la red de vías ciclistas.

Los modelos de "seguridad por el número" y el modelo citado, que establece una relación exponencial entre el riesgo y la longitud de la red de vías ciclistas, pueden además combinarse para dar una relación exponencial entre el número de desplazamientos en bicicleta y la longitud de la red de vías ciclistas.

Para los parámetros de los diferentes modelos que se han encontrado en el estudio, los resultados son que, como se muestra en las diferentes figuras, se produce un descenso paulatino del riesgo, simultáneamente a un incremento de los desplazamientos en bicicleta, a medida que la longitud de la red aumenta. No obstante, estas variaciones tienden a disminuir a medida que transcurre el tiempo y la red de vías ciclistas se consolida, siendo necesarias pues otro tipo de acciones para conseguir tanto una disminución sustancial del riesgo como un aumento sustancial de los desplazamientos, lo que está de acuerdo con análisis anteriores (Marqués et al., 2015).

Respecto de los accidentes distintos de las colisiones con vehículos a motor, los datos analizados indican que el riesgo de mantiene más o menos constante entre los periodos 2000-2006 y 2006-2013, excepto para el caso de las colisiones entre ciclistas, en que ha aumentado notablemente. Esto puede explicarse por el incremento de la proximidad entre ciclistas que las vías ciclistas segregadas suponen. En todo caso, los riesgos encontrados para este tipo de accidentes son bajos en comparación con los riesgos encontrados para las colisiones con vehículos a motor. Aún así, estos datos deben tomarse con precaución, dado el escaso índice de registro que se ha demostrado para este tipo de accidentes en otros estudios. Por tanto, es necesario seguir investigando sobre este punto concreto.

Esperamos que los resultados de este análisis y la metodología desarrollada contribuyan a arrojar luz sobre el debate acerca de la contribución de las vías ciclistas a la seguridad vial y sean útiles para el desarrollo de estudios similares en otras ciudades.

REFERENCIAS:

Dirección General de Tráfico (2010) *Accidentes de Tráfico en Zona Urbana en España*.

Elvik, R., & Mysen, A. (1999). Incomplete accident reporting: meta-analysis of studies made in 13 countries. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1665), 133-140

Forester, J. (2001). The bicycle transportation controversy. *Transportation Quarterly*, 55(2), 7-17.

Jacobsen, P. L. (2003). Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury prevention*, 9(3), 205-209.

Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transporte. *Encuesta Domiciliaria de Movilidad en el Área Metropolitana de Sevilla, 1990*.

Marqués, R., Hernández-Herrador, V., Calvo-Salazar, M., & García-Cebrián, J. A. (2015). How infrastructure can promote cycling in cities: Lessons from Seville. *Research in Transportation Economics*, 53, 31-44.

Marqués, R., & Hernández-Herrador, V. (2017). On the effect of networks of cycle-tracks on the risk of cycling. The case of Seville. *Accident Analysis & Prevention*, 102, 181-190.

Pucher, J. (2001). Cycling safety on bikeways vs. roads. *Transportation Quarterly*, 55(4), 9-11.

SIBUS: Sistema Integral de la Bicicleta de la Universidad de Sevilla (2012) *Estudio sobre el uso de la bicicleta en Sevilla, 2011*.

SIBUS: Sistema Integral de la Bicicleta de la Universidad de Sevilla (2014) *Evaluación del uso de la bicicleta en Sevilla. Noviembre de 2013*.

Wegman, F., Zhang, F., & Dijkstra, A. (2012). How to make more cycling good for road safety?. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 19-29.