

Prevalencia de la Diabetes en la República Argentina: Proyecciones Utilizando Simulación Dinámica

Marisa A. Sánchez¹ Silvina Pagliari² Pablo Acrogliano²
Diego Schneider¹ Denise Belloni³

¹*Dpto. de Ciencias de la Administración, Universidad Nacional del Sur,
12 de Octubre 1198, (8000) Bahía Blanca, Argentina.
Teléfono: (54)291 4595132, Fax: (54)291 4595133
E-mail: mas@uns.edu.ar*

²*Hospital Interzonal Dr. José Penna,
Avda. Lainez 2401, (8000) Bahía Blanca, Argentina.
E-mail: pagliariclin@hotmail.com*

³*Dpto. de Matemática, Universidad Nacional del Sur,
Alem 1253, (8000) Bahía Blanca, Argentina.*

Resumen

La prevalencia de la diabetes aumenta constantemente y la Organización Mundial de la Salud proyecta que el número de personas con diabetes se duplicará entre el 2000 y 2030. En la República Argentina no existen censos recientes que provean datos para evaluar el estado sanitario, los costos de atención al diabético, y, más aún cuantificar el impacto de campañas de detección temprana. En este trabajo se implementa una herramienta basada en simulación dinámica que permite analizar la tendencia de la tasa de prevalencia bajo diferentes estrategias de prevención.

Palabras Clave

Diabetes mellitus; Health Planning; Health Care Costs; Simulación dinámica.
MeSH: C19.246; N03.349; N03.219.151.460

1. Introducción

La prevalencia de la diabetes aumenta constantemente y la Organización Mundial de la Salud proyecta que el número de personas con diabetes se duplicará entre el 2000 y 2030 (Wild, 2004). Según un informe de Naciones Unidas, donde se detallan las 20 causas principales de muerte, la diabetes mellitus se ubica en el puesto 12 en el año 2004, y se estima que pasará al puesto 7 para el 2030 (WHO, 2008). En la República Argentina no existen censos recientes que provean datos para evaluar el estado sanitario, los costos de atención al diabético, y, más aún cuantificar el impacto de campañas de detección temprana. La cuantificación de la prevalencia de la diabetes es importante para permitir una correcta planificación y distribución de recursos. Williams (Williams, 2002) indica que el costo de la atención de personas con diabetes es 3-5 veces mayor que el de quienes no la padecen, y este costo aumenta en función del desarrollo y progresión de las complicaciones crónicas de la enfermedad.

A efectos de cuantificar la carga económica de la diabetes en nuestro medio se implementó un modelo que permite analizar la tendencia en la tasa de prevalencia considerando diferentes escenarios. De esta forma, resultará evidente la magnitud del impacto de políticas que promuevan la utilización de estrategias de prevención.

El presente trabajo se organiza de la siguiente forma: en la sección siguiente se presenta el modelo matemático utilizado, los parámetros estimados para modelar la diabetes en la República Argentina, e información de costos directos asociados al seguimiento de pacientes con diabetes. En la Sección 3 se

presentan los resultados de los experimentos de simulación. Finalmente, en la Sección 4 se analizan las principales conclusiones y contribuciones del trabajo.

2. Métodos

En los últimos años se han publicado una variedad de modelos que tratan diferentes aspectos de esta enfermedad: la dinámica de la glucosa-insulina (Bergman, 1979; Mari, 2002; Nucci, 2000), la epidemiología de la diabetes y sus complicaciones, el costo de la diabetes y la eficacia de las estrategias (Boutayeb, 2006^a; Atun, 2005). En particular, si bien la utilización de modelos epidemiológicos es ampliamente difundida para enfermedades infecciosas, la aplicación en enfermedades no comunicables es menos frecuente (Boutayeb, 2006b). Boutayeb et al. (Boutayeb, 2004) propone un modelo continuo estructurado por la edad utilizando ecuaciones diferenciales parciales para analizar complicaciones de la diabetes. El objetivo de los autores es mostrar que aunque la diabetes no es curable por el momento, la prevención de sus complicaciones puede mejorar la calidad de vida de las personas y reducir los costos de los servicios sanitarios nacionales.

En este trabajo consideramos un modelo epidemiológico basado en la propuesta de (Boutayeb, 2004). Cabe observar que no utilizamos un modelo estructurado por edad debido a la falta de datos para calibrar adecuadamente la implementación en una simulación. Las ecuaciones que describen el modelo son las siguientes (asumiendo que la diabetes afecta de igual forma a ambos sexos y edad, y que un individuo no tiene complicaciones en el diagnóstico):

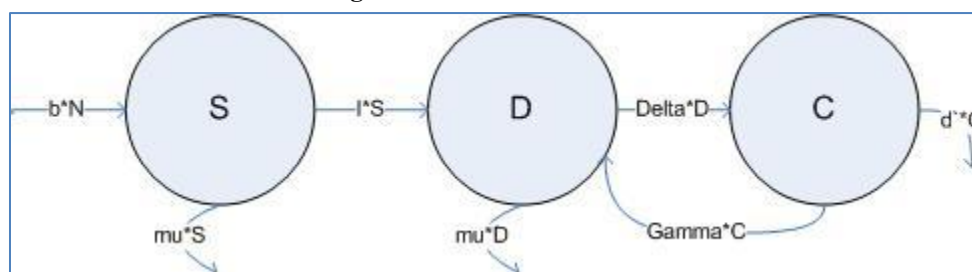
$$\frac{dS}{dt} = \beta * (S + D + C) - (\mu + I) * S$$

$$\frac{dD}{dt} = -\mu D - \delta D + \gamma C + IS$$

$$\frac{dC}{dt} = -d'C + \delta D - \gamma C$$

donde $C=D(t)$ y $C=C(t)$ representan el número de diabéticos en un instante t , sin y con complicaciones, respectivamente; $S=S(t)$ el número de no diabéticos; y $N=S+D+C$. El número de diabéticos con complicaciones se incrementa con δD (diabéticos que desarrollan complicaciones) y se disminuye por $d'C$ (individuos que fallecen por mortalidad natural y mortalidad inducida por complicaciones). El número de diabéticos sin complicaciones se incrementa de acuerdo a la tasa de incidencia I ; y por γC (diabéticos cuyas complicaciones se curan); y se disminuye por $(\mu + \delta)$ que caracterizan la tasa de mortalidad y complicaciones. La Figura 1 muestra gráficamente el modelo matemático.

Figura 1: Modelo matemático.



Las tendencias elaboradas para los parámetros se efectuaron a partir de varias fuentes y en base a las simulaciones, supuestos y comparaciones con otros estudios.

Incidencia. Los valores para la incidencia se definieron en base a los registros en Estados Unidos (CDC, 2009) y proyecciones de (Wild, 2004).

Incidencia de diabetes. La diabetes mellitus tipo 2 es la más prevalente, y supone hasta el 90% de todas las diabetes. Tal como lo indican varios autores, el 50% de pacientes con diabetes de tipo 2 tiene algún tipo de complicación al momento del diagnóstico.

Tasa de desarrollo de complicaciones. Una de las características principales de la diabetes es que durante su evolución aparecen complicaciones crónicas que son la causa principal de la mortalidad en pacientes

diabéticos. Este parámetro es clave porque determina la cantidad de individuos que están en condiciones más riesgosas y tiene gran impacto en los costos sociales y económicos.

Tasa de curación de complicaciones. Las complicaciones que se diagnostican en una etapa temprana pueden curarse.

Tabla 1: Algunos de los valores para los parámetros utilizados en los experimentos numéricos.

Parámetro	Valor anual
δ	0.01
γ	0
μ	1/75.8
d'	0.02
I	[2.0,8.5]

2.1. Estimación de los Costos Sanitarios

Los costos de las enfermedades se definen como la suma de a) costos directos, es decir, generados para prevenir, diagnosticar, tratar y controlar la enfermedad; b) costos indirectos procedentes de la disminución de la productividad causada por el ausentismo y mortalidad prematura y c) efectos sobre el bienestar y la calidad de vida. Los costos directos e indirectos en Estados Unidos ascienden a 174 billones de dólares. Al ajustar los costos por edad y sexo, los gastos promedio para individuos con diagnóstico de diabetes son 2.3 superiores a los gastos para individuos en ausencia de diabetes (CDC, 2010).

En este trabajo definimos las componentes del costo directo considerando las guías publicadas por la American Diabetes Association (2000) y el el Expert Committee of the Canadian Diabetes Advisory Board (1992).

Se calculó el consumo anual de recursos por paciente y se multiplicó por el costo unitario de cada uno de ellos (ver Tabla 2). Los costos se dividieron en ambulatorios, por hospitalización y por tratamientos prescritos. Los costos ambulatorios incluyen los derivados de las visitas a los médicos generales y especialistas, visitas a profesionales no médicos (enfermeras, podólogos, etc.), las pruebas diagnósticas y procedimientos empleados en las visitas. Para calcular el costo de tratamientos se consideró el costo diario y la duración. Los tratamientos pueden estar relacionados directamente con la diabetes (para controlar la glucemia), o indirectamente relacionado por tratarse complicaciones o factores de riesgo asociados. Se consideró que el 5% de los diabéticos recibe insulina (Barceló, 2003). En las hospitalizaciones se consideran aquellas causadas directamente por la diabetes, y las relacionadas con trastornos o complicaciones por el proceso diabético subyacente.

Para calcular los costos farmacéuticos se tomaron como referencia precios publicados en el sitio www.alfabeta.net y los costos de laboratorio, consultas médicas, hospitalización resultan de un sondeo en instituciones locales. De acuerdo, a los valores relevados tenemos un costo de \$535,00 para el paciente inicial. Se asocia al paciente que es diagnosticado con diabetes un costo inicial ambulatorio (280,00+30+155+70=535). Los costos de seguimiento ambulatorios y farmacéuticos ascienden a \$1.872,32 y a \$3.696,28 para un paciente sin y con complicaciones, respectivamente. Si se agregan los costos de hospitalizaciones, se tienen 2.122,32 y 20.830,13.

Tabla 2: Costos para pacientes de diabetes tipo II

	Costo unitario	Sin complicaciones		Con complicaciones	
		Cantidad/dosis/días promedio anuales	Costo anual	Cantidad	Costo anual
Costos ambulatorios					
Visita inicial clínica, cardiólogo, nutricionista, endocrinólogo.	70,00	4 (única vez)	280,00	4 (única vez)	280,00
Visita inicial podólogo	30,00	1 (única vez)	30,00	1 (única vez)	30,00
Prácticas iniciales					
Laboratorio:		1 (única vez)	155,00	1 (única vez)	155,00
- Hb glicosilada	35,00				
- Glucemia en ayunas	5,00				
- Sedimento de orina	8,00				
	5,00				

- Urea y creatina	32,00				
- Perfil lipídico	15,00				
- Clearance de creatinina	40,00				
- Microalbuminuria	15,00				
- Acto bioquímico					
Electrocardiograma	70,00	1 (única vez)	70,00	1 (única vez)	70,00
Visitas de seguimiento clínico, endocrinólogo.	70,00	4	280,00	6	420,00
Laboratorio de seguimiento:		2	180,00	3	270,00
- Hb glicosilada	35,00				
- Sedimento de orina	8,00				
- Perfil lipídico	32,00				
- Acto bioquímico	15,00				
Visita podólogo	30,00	1	30,00	3	90,00
Visita oftalmólogo	70,00	1	70,00	1	70,00
Estudio retinofluoresceinografía	200,00			1	200,00
Costo farmacéutico					
Antidiabéticos orales					
Metformina 500mg x 100	46,00	2 por día (720)	331,20	4 por día (1440)	662,40
Glimepirida 4mg x 15	30,00			1 por día (360)	720,00
Insulina Betalin 10ml	199,97			10U(3600U)	719,89
Cardiovasculares					
Aspirina Prevent 325mg x 30	21,90	1 por día	262,80	1 por día	262,80
Enalapril 5mg x30	29,93	2 por día (720)	718,32	4 por día (1440)	1.436,64
Hipolipemiantes					
Simvastatina 10mg x30	88,00	1 por día (360)	1.056,00	2 por día (720)	2.112,00
Rosovastatina 10mg x 14	57,31	1 por día (360)	1.473,70	2 por día (720)	2.947,37
Gastrointestinales					
Omeprazol 10mg x 28	54,24			1 por día (360)	697,37
Antibiótico					
Amoxicilina clavulanico 500mg x 16	80,99			60(*)	303,71
Test para autoanálisis					
Tiras reactivas Accu-check x 50	218,00			2(720)	3.139,20
Medidor Accu-check	133,85			Única vez	133,85
Hospitalizaciones					
Estancia en UTI	1.000,00			7 días	7.000,00
Estancia en planta	500,00	½ día	250,00	20 días	10.000,00

Fuente: elaboración propia tomando como referencia costos disponibles en <http://www.alfabeta.net>.

3. Resultados

Se implementó el modelo utilizando el software de simulación continua Stella. Se calibró el modelo con datos de 40 años (período 1980-2020) utilizando un paso fijo de 0.1 y el método de integración de cuarto orden Runge-Kutta. A continuación, se sintetizan algunos resultados.

Se inicializa el simulador con valores para el año 1980 y se simulan 40 años y valores para los parámetros de acuerdo a la Tabla 1. La Figura 2 presenta la población desagregada como No diabéticos, Diabéticos sin complicaciones y diabéticos con complicaciones. Si bien no se dispone de registros actualizados para validar estos números, la cantidad de diabéticos coincide con las estimaciones de otros autores. Si suponemos que la incidencia permanece igual en los próximos 10 años (período 2010-2020), entonces la cantidad de individuos diabéticos se incrementa en forma controlada. Para el año 2020 se estiman un total de 3.469.284 diabéticos, lo cual representa una prevalencia del 8,59%.

Aumento en la tasa de incidencia. Se experimentó utilizando los mismos valores para los parámetros que se utilizaron en el experimento inicial –excepto que a partir del 2010, se utilizó una tasa de incidencia tal como se detalla en la tabla. Como vemos en la Figura 3, el sistema es inestable. Esto demuestra las consecuencias de un aumento en la incidencia que podría producirse como consecuencia de aumento un los factores de riesgo relacionados con la diabetes (obesidad, sedentarismo, dieta inadecuada).

Tabla 3: Tasas de Incidencia utilizada para el análisis de sensibilidad en tres experimentos.

Año	Tasas de Incidencia		
	1	2	3
2010	0.0035	0.004	0.0045
2011	0.0035	0.004	0.0045
2012	0.0035	0.004	0.0045
2013	0.0035	0.004	0.0045
2014	0.0035	0.004	0.0045
2015	0.004	0.0045	0.005
2016	0.004	0.0045	0.005
2017	0.004	0.0045	0.005
2018	0.004	0.0045	0.005
2019	0.004	0.0045	0.005

Impacto económico de una estrategia que reduzca la tasa de complicaciones

En la literatura se mencionan numerosas estrategias cuyo objetivo es prevenir el desarrollo de complicaciones. Por ejemplo, en un estudio realizado en el Reino Unido en más de 5000 pacientes durante 10 años se demostró que un control estricto de la glucemia reducía en un 25% la aparición de lesiones microvasculares (UK, 1998). Para mostrar el impacto de estrategias preventivas incluimos los resultados del análisis de sensibilidad de la tasa de complicaciones sobre el número de pacientes con complicaciones. En la Figura 4 se incluye la tendencia del número de complicados para los valores 0.001, 0.025 y 0.004 de la tasa de complicaciones. Para el año 2019, se proyectan 62.814,52; 142.549,53; y 219.538,68 individuos complicados para cada uno de los tres valores de la tasa. Estos valores representan un aumento de más del 200% en los costos acumulados por complicaciones en el período 2010-2019 (ver Tabla 4).

Tabla 4: Análisis de sensibilidad para diferentes tasas de complicaciones.

Al 2019	Tasas de Complicaciones		
	0.001	0.0025	0.004
Nro. de Complicados	62.814,52	142.549,53	219.538,68
Costos acumulados	15.941.860,60	35.293.557,15	54.050.079,22

Figura 2: Resultados de la simulación para 40 años (La tasa de incidencia no se incrementa en los últimos 10 años).

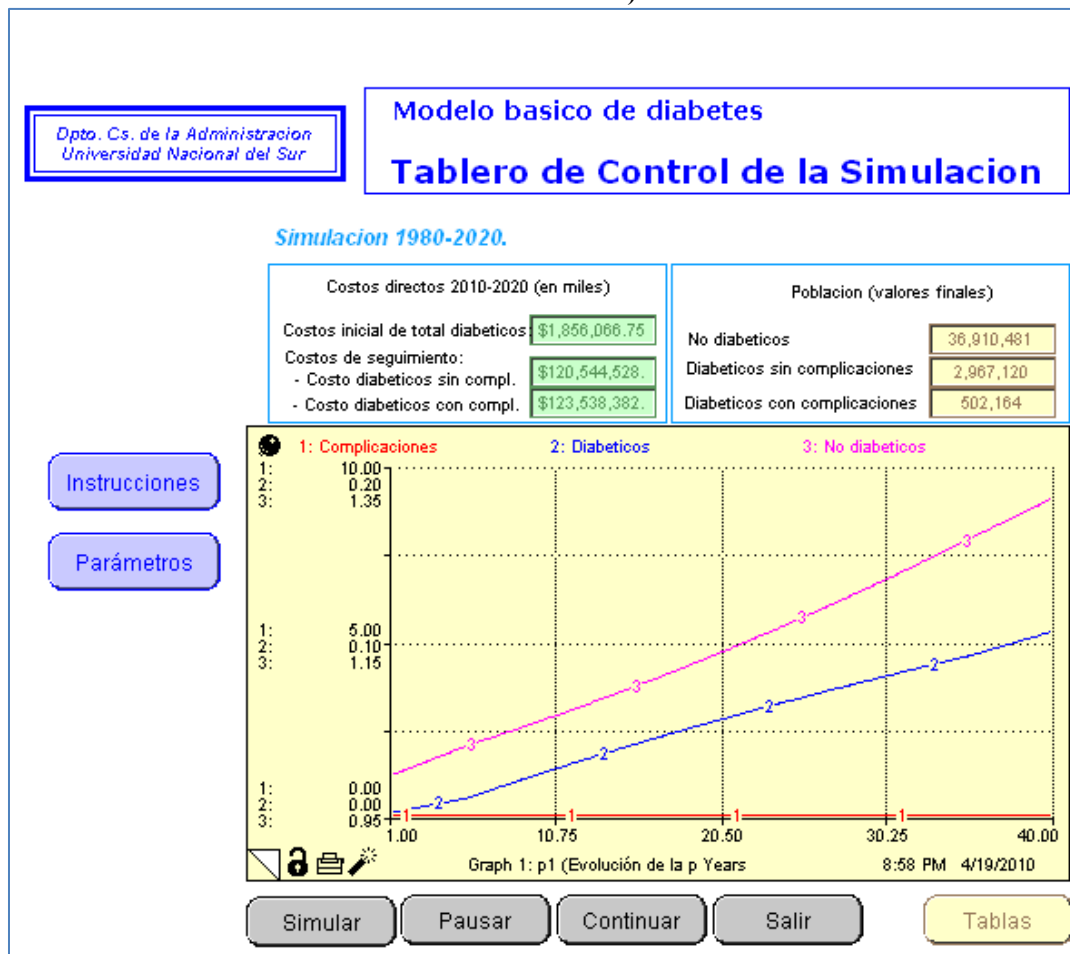


Figura 3: Análisis de sensibilidad para la tasa de incidencia, la tasa cambia en los últimos 10 años (Aumento en la tasa igual a 1:0; 2:0.0005; 3:0.001).

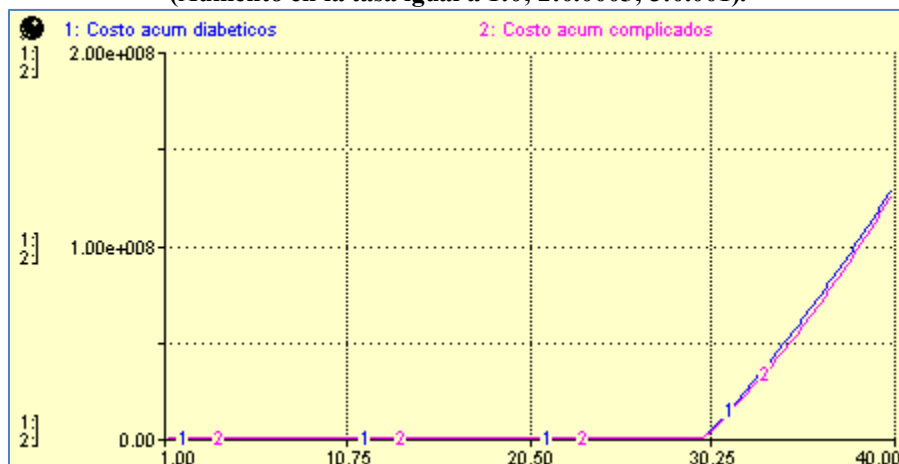
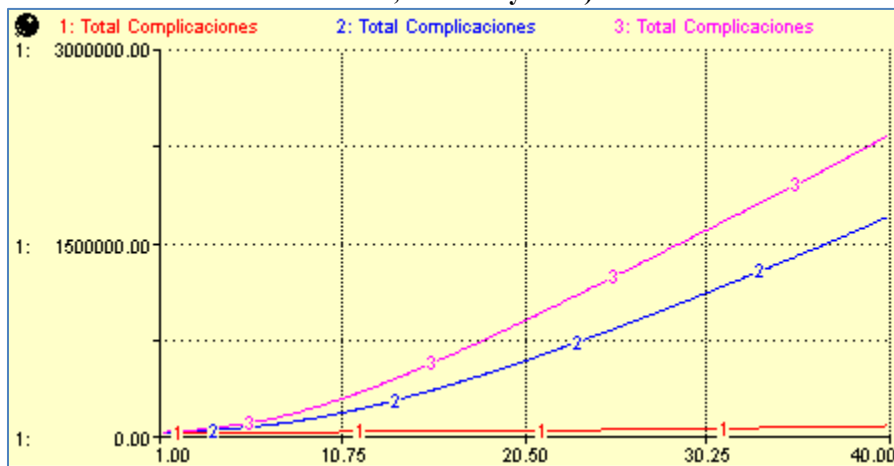


Figura 4: Análisis de Sensibilidad para la tasa de complicaciones (Tasa de complicaciones igual a 1:0.001, 2:0.0505 y 3:0.1).



4. Discusión

En este trabajo se implementa una herramienta basada en simulación dinámica que permite analizar la tendencia de la tasa de prevalencia bajo diferentes estrategias de prevención. La principal limitación del modelo subyacente, definido por (Boutayeb, 2004), es que no categoriza a la población por categoría de edad. Si bien esto quita precisión en la definición de la incidencia y demás tasas, no se avanzó en ese sentido debido a la ausencia de datos censales sobre la cantidad de individuos con diabetes. Existen estimaciones generales y no resultaría adecuado especular sobre las tasa de incidencia y complicaciones para diferentes categorías de edad.

Al considerar la carga económica, asumimos que todos los pacientes diabéticos reciben tratamiento de acuerdo a prácticas internacionales. Por lo tanto, se pueden sobre-estimar costos. Los resultados de las campañas de detección de la diabetes oculta indican que aproximadamente el 4.5% de los diabéticos no sabe que padece la enfermedad (ABADI, 2010), y por lo tanto, no recibe tratamiento. Pero, en ese caso también debiera considerarse el impacto de la no detección en la tasa de complicaciones y mortalidad inducida por complicaciones en la diabetes. El desarrollo de complicaciones se puede prevenir eficazmente mediante el control estricto de la glucemia y de otros factores de riesgo (UK, 1998). La herramienta asiste en este tipo de análisis calculando automáticamente los costos para diferentes parámetros.

La herramienta provee una evaluación rigurosa del impacto de la diabetes y puede utilizarse para hacer estimaciones del impacto de diferentes escenarios y políticas sanitarias. Por supuesto, que estos modelos son apropiados cuando existen datos para predecir la evolución de la incidencia y prevalencia de la enfermedad. A pesar de las limitaciones derivadas de la falta de datos confiables, los resultados revelan que la diabetes crecerá en el futuro y tiene un impacto financiero muy serio en los presupuestos sanitarios del estado y de las obras sociales. Más aún, las obras sociales podrían considerar estudios de este tipo para evaluar la conveniencia de cubrir más prácticas preventivas y así evitar mayores erogaciones que resultan de las complicaciones de la diabetes. De acuerdo a Barceló (2003), en Argentina los costos de cuidados de diabetes son un 68% superiores que los gastos promedio de salud.

La situación es más preocupante si observamos que sólo consideramos los costos directos. Según otros autores (Barceló, 2003), los costos directos contribuyen en un 18% de los costos totales de la diabetes.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del Dr. Carlos Santillán en la recopilación de datos históricos.

Referencias

- [1] Asociación Bahiense de Ayuda al Diabético (ABADI) (2010). Actividades de ABADI durante el 2009, 1 de febrero de 2010.
- [2] Alfabet (2010). Sitio <http://www.alfabeta.net>, accedido el 22 de marzo de 2010.

- [3] American Diabetes Association (2000). Standards of Medical Care for Patients with Diabetes Mellitus. *Clinical Diabetes*, 18(1).
- [4] Barceló A., Aedo C., Swapnil R., Robles S. (2003). The cost of diabetes in Latin America and the Caribbean. *Bulletin of the World Health Organization*, 81(1).
- [5] Bergman R., Bowden C., Cobelli C. (1979). Quantitative Estimation of Insulin Sensitivity. *American Journal of Physiol*, 23(6):667-677.
- [6] Boutayeb A., Twizell E. (2004). An age structured model for complications of diabetes mellitus in Morocco. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 12:77-87.
- [7] Boutayeb A. (2006a). The double burden of communicable and non communicable diseases in developing countries: A Review. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 100:191-199.
- [8] Boutayeb A., Chetouani A. (2006b). A critical review of mathematical models and data used in diabetology. *BioMedical Engineering OnLine*, 5:43. Disponible en <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/5/1/43>.
- [9] CDC (2010). Centers for Disease Control and Prevention. Disponible en <http://www.cdc.gov/diabetes/statistics/incidence>. Accedido el 25 de febrero de 2010.
- [10] Expert Committee of the Canadian Diabetes Advisory Board (1992). Clinical practice guidelines for treatment of diabetes mellitus. *Can Med Assoc J*, 147(5).
- [11] Mari A. (2002). Mathematical modelling in glucose metabolism and insulin secretion. *Current Opinion Clinical Nutrition Metabolism Care*, 5:495-501.
- [12] Nucci G., Cobelli C. (2000). Models of subcutaneous insulin kinetics: a critical review. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 62:249-257.
- [13] Turban E., Aronson J., L. Ting-Peng y McCarthy R. (2005). *Decision support systems and intelligent systems*. 7a. ed. Upper Saddle River (N.Y.): Pearson Education.
- [14] UK Prospective Diabetes Study Group (1998). Effect of intensive blood glucose control policy with metformin on complications in type 2 diabetes patients. *Lancet*, 352:864-865.
- [15] WHO (2008). World Health Organization. World Health Statistics 2008. Disponible en <http://www.who.int/whosis>.
- [16] Wild S., Roglic G., Green A., Sicree R., King H. (2004). Global Prevalence of Diabetes. Estimates for the Year 2000 and projections for 2030. *Diabetes Care*, 27 (5), May 2004.
- [17] Williams R., van Gaal L., Lucioni C. (2002). CODE-2 Advisory Board. Assessing the impact of complications on the costs of Type II diabetes. *Diabetologia*, 45:13-17.
- [18] World Health Organization (2007b). *Global tuberculosis control: surveillance, planning, financing*. Geneve: WHO. WHO document WHO/HTM/TB/2007.376.

Datos de Contacto:

Marisa Sánchez. Dpto. Cs. de la Administración. Universidad Nacional del Sur. 12 de Octubre y San Juan. Bahía Blanca. E-mail: mas@uns.edu.ar.