

Escuela de Medicina de La Habana. La Habana

## LA IMPORTANCIA DE LOS VALORES NO POSITIVOS Y NEGATIVOS: A PROPÓSITO DE POISSON, FISHER Y EL CHALLENGER

Sergio Santana Porbén<sup>1</sup>.

### INTRODUCCIÓN

El procesamiento de los datos colectados durante una investigación, y el análisis estadístico-matemático de los resultados, constituyen etapas determinantes del proceso investigativo. Si todo ha marchado bien, entonces los resultados obtenidos deberían soportar la hipótesis alterna avanzada por el equipo de investigadores. Pero, ¿qué ocurre cuando los resultados contradicen las expectativas iniciales? En un ambiente dominado por los imperativos de “producir” investigaciones que muestren resultados “positivos” (esto es: aquellos que apoyen la hipótesis alterna del objeto de la indagación científica), se tiende a dejar de lado (e incluso ignorar) aquellos que contradicen la hipótesis alterna y, por complementariedad, apoyan (o también dicho de otra manera: no permiten rechazar fehacientemente) la hipótesis nula de la ausencia de efectos significativos del tratamiento administrado. Éstos serían entonces los resultados negativos, y por extensión, los no positivos<sup>\* 1-2</sup>.

Como parte de la metodología de la investigación científica, se ha propuesto la estrategia de “*Intention to treat*”<sup>†</sup> que reza que los resultados obtenidos del sujeto participante en un ensayo clínico aleatorizado deben ser analizado conservando siempre la pertenencia de grupo, y sin que se viole el principio inicial de la aleatorización (dicho con otras palabras: la asignación inicial a la rama de tratamiento que el paciente seguirá después durante todo el transcurso del ensayo clínico), independientemente del tratamiento recibido, y la suerte corrida (abandono, muerte, no tratamiento, tratamiento incompleto, negación) durante la ventana de observación de la investigación.<sup>3</sup>

Las consecuencias de ignorar y soslayar los resultados negativos llegado el momento del procesamiento de los datos pueden recorrer desde la obtención de conclusiones “falsas positivas” (y también “falsas negativas”) hasta errores groseros de conducta (con posibles implicaciones criminales). Un caso en cuestión fue protagonizado por el Dr. Andrew Wakefield y sus colaboradores, quienes publicaron en los 1990s en la prestigiosa “The Lancet” un estudio que señaló que la administración de la vacuna SPR (que brindaba inmunización

---

\* En lenguaje matemático, un número negativo es aquel que va precedido por un signo de menos (-). Por su parte, los números no positivos comprenden todos los negativos más el cero.

---

† En español: Intención de tratar.

<sup>1</sup> Médico. Especialista de Segundo Grado en Bioquímica Clínica. Profesor Asistente Máster en Nutrición en Salud Pública

Recibido: 23 de Julio del 2023.

Aceptado: 20 de Agosto del 2023.

**Sergio Santana Porbén.** Servicio de Laboratorio Clínico. Hospital Pediátrico Docente “Juan Manuel Márquez”. Avenida 31 esquina a calle 76. Marianao. La Habana  
Correo electrónico: [ssergito@infomed.sld.cu](mailto:ssergito@infomed.sld.cu).

activa contra el sarampión, las paperas, y la rubéola) iba seguida de un aumento en el riesgo de aparición de trastornos del desarrollo psicomotor de los niños, el autismo incluido.<sup>4</sup> Para ello, los autores sumaron resultados “positivos” sin reconocer la existencia (ni incorporar en el estudio) una enorme masa de trabajos “negativos” que afirmaban lo contrario.

Las consecuencias de la publicación de un trabajo como éste (arropado además por el prestigio del que gozaban tanto el autor principal como la revista) fueron funestas, devastadoras, y de largo alcance. Los padres reaccionaron inmediatamente rechazando la inmunización de sus hijos, lo que trajo consigo una reducción sin precedentes de la tasa de protección inmune de la población y el aumento en la incidencia de las enfermedades en cuestión, incluso con la ocurrencia de muertes debido a ellas. El artículo del Dr. Wakefield brindó la plataforma ideológica para el movimiento globalista anti-vacunas, que después se haría sentir con inusitada fuerza durante la pandemia de la Covid-19. Finalmente, y ante la presión de la comunidad científica y grupos sociales pro-vacunas, el Consejo Médico General Británico (del inglés GMC *British General Medical Council*) revisó todas las evidencias acumuladas hasta la fecha, dictaminó que el colectivo de autores había actuado de manera impropia, y demandó la retirada del controvertido artículo junto con la publicación de una nota de retractación, lo que finalmente ocurrió en el año 2010.<sup>5</sup>

El mundo fue sacudido en los 1980s por la tragedia del transbordador espacial *Challenger* que significó la pérdida de la vida de los 7 tripulantes, y afectó profundamente el desarrollo del programa norteamericano de las lanzaderas espaciales.<sup>6</sup> Entre las consecuencias del evento, el caso del *Challenger* ha provisto un ejemplo histórico donde el soslayamiento de los valores negativos resultó en una

catástrofe con graves repercusiones tecnológicas, militares y humanas.

### *El vuelo interrumpido del Challenger*

Es el 28 de Enero de 1986. Todo se alista en Cabo Cañaveral para la misión 25 del transbordador *Challenger*. Continuando con el programa de invitados de la NASA<sup>‡</sup>, a bordo viaja una maestra que impartirá clases a sus alumnos (y a los de todo el país) desde la órbita terrestre. El despegue es magnífico. El *Challenger* se eleva hacia los cielos en una espectacular bola de fuego y vapores. De pronto, a los 73 segundos del lanzamiento, se observa una llamarada que emerge desde uno de los motores auxiliares. Acto seguido, y sin aviso alguno, una estruendosa y ominosa explosión fragmenta al *Challenger* en cientos de pedazos<sup>§</sup>. Los asistentes al acto de lanzamiento, los EEUU todos, y el mundo entero se quedan estupefactos. ¿Qué pudo haber salido mal? ¿Cómo fue posible tal accidente cuando se habían completado tantas misiones antes con total éxito?

En medio del dolor global, el Presidente Ronald Reagan anunció la creación de una comisión especial para investigar la catástrofe, y nombró al frente de la misma al Dr. Richard Feynman, un destacado físico distinguido con el Premio Nobel<sup>\*\*</sup>. No pasó mucho tiempo hasta que los sellos de goma colocados en los motores auxiliares<sup>††</sup> fueron señalados como los

<sup>‡</sup> Del inglés *National Administration for Space and Aviation* (la Administración Nacional de Aviación y Aeronáutica).

<sup>§</sup> Las investigaciones posteriores revelaron que la tripulación sobrevivió a la explosión, pero murió poco después al verse privada de oxígeno debido a la súbita descompresión ocurrida dentro de la cabina.

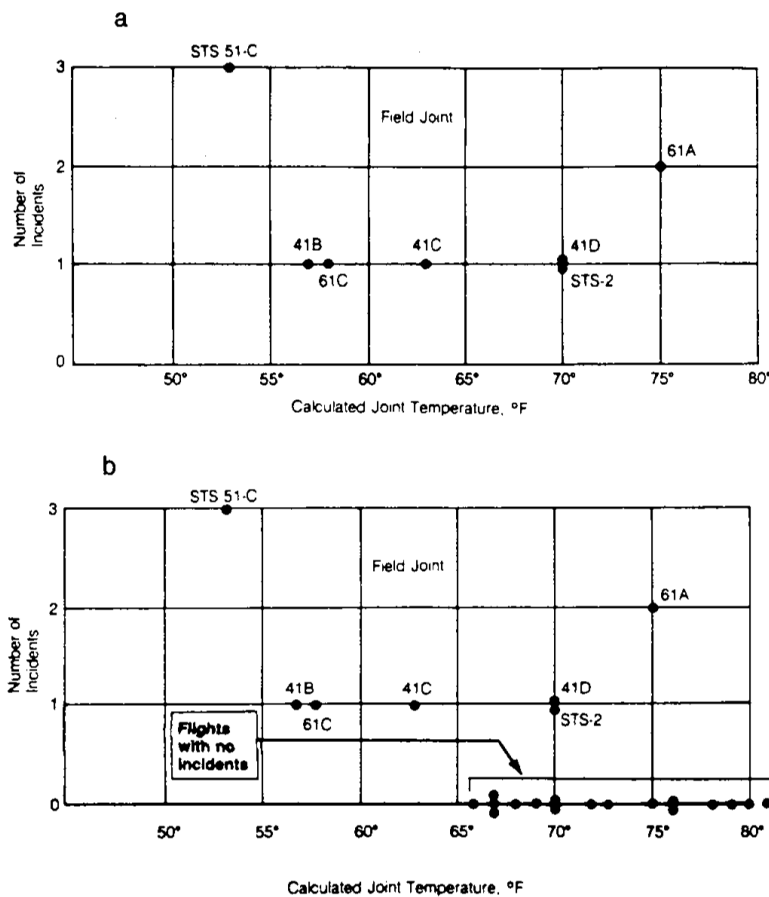
<sup>\*\*</sup> La película “The Challenger” (2013), protagonizada por William Hurt en la piel del Dr. Richard Feynman, narra con estilo casi documental los distintos incidentes en la investigación de la tragedia del *Challenger*.

<sup>††</sup> En la literatura especializada tales sellos fueron referenciados como los “O rings”.

responsables de la tragedia.<sup>7</sup> Los sellos en O contienen los gases de impulsión mientras se combustionan. Una fuga (por pequeña que fuera) implicaría la salida al exterior de un material altamente inflamable, y con ello, el riesgo de ocurrencia de una explosión.

solo se mantenía dentro de un rango especificado de temperaturas ambientales, y que la temperatura registrada en Cabo Cañaveral en los días previos al lanzamiento de la misión 25 había sido desacostumbrada baja. Para todos quedó claro entonces que las

Figura 1. El gráfico que confundió a todos. Se muestran el número de incidentes (léase daños) en los anillos en O recuperados después de cada misión en relación con la temperatura ambiente en el día del lanzamiento. Se señala la discrepancia entre los 3 incidentes registrados en ocasión del lanzamiento de la misión 51-C del “Challenger”, y los datos empleados después en el análisis estadístico-matemático, donde solo se refieren 2 incidentes.



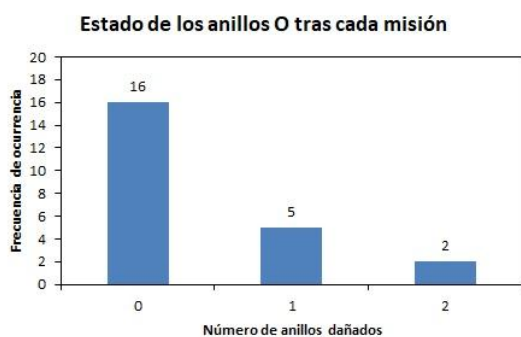
Fuente: Reporte de la Comisión Presidencial sobre el accidente del transbordador espacial “Challenger”. Referencia: [8].

La Comisión presidencial fue aún más lejos para encontrar que la elasticidad de los sellos de goma en O (y con ello, la capacidad de deformarse sin dañarse permanentemente)

bajas temperaturas y los sellos de goma dañados fueron la combinación fatal para la tragedia del *Challenger*. Para colmo de imposibles, la misión 25 había sido

suspendida en varias ocasiones debido al mal tiempo reinante en el polígono de lanzamiento, y las lluvias continuas y las bajas temperaturas que dominaron Cabo Cañaveral durante varios días.

Figura 2. Distribución de los incidentes registrados con los anillos O al término de cada misión.



Fuente: Construcción propia del autor.

El día 28 de Enero de 1986 las condiciones meteorológicas habían mejorado apreciablemente como para decidir el lanzamiento. En una jornada que después se reveló como fatídica se habían acumulado (y revisado una y otra vez) los resultados de las misiones previas. Los ingenieros en el Centro de Control evaluaron una gráfica que mostraba el efecto de las temperaturas exteriores sobre el éxito de las misiones, subrogado éste por el número de anillos O dañados de entre los recuperados. Hasta ese momento el gráfico mostraba que no existía relación aparente entre la temperatura exterior y el número de anillos dañados. El análisis gráfico también concluyó que, “en condiciones naturales” (esto es: cuando todo salía bien) había que esperar a lo sumo 3 anillos dañados. Entonces, ¿por qué ocurrió la tragedia?

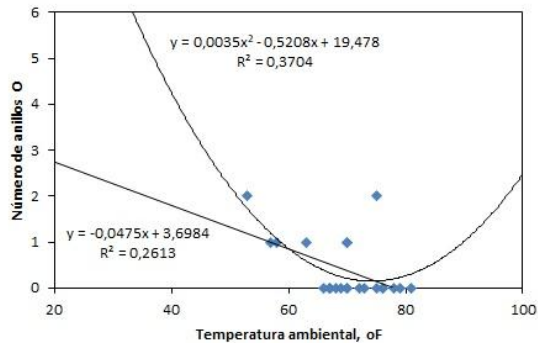
### ¿Pudo haberse evitado la tragedia?

Cuando ocurre una tragedia de la magnitud de la del *Challenger*, toda la organización es puesta bajo la lupa. La NASA había estado sujeta a escrutinios cada vez más exhaustivos ante reportes de malos manejos administrativos, presupuestos inflados, y gastos fiscales excesivos.

El contexto nacional e internacional tampoco era muy favorable a una gestión de la NASA saludable (o por lo menos amigable) que se diga. La Guerra Fría se había recrudecido, la URSS mostraba su peor cara ante el mundo después de la invasión de Afganistán, y el Presidente Reagan había lanzado una ambiciosa “Iniciativa de Defensa Estratégica” (de sus siglas en inglés SDI por *Strategic Defense Initiative*)<sup>‡‡</sup> que incorporaba por primera vez la posibilidad de escalar la carrera armamentística hasta el cosmos. Entonces, las presiones sobre la NASA se habían incrementado desproporcionadamente para que desarrollara un sistema de lanzaderas reutilizables que hiciera posible el abastecimiento de unidades militares desplegadas en la órbita terrestre mediante vehículos de múltiples reentradas. El lanzamiento exitoso del Discovery en 1979 fue saludado en muchas partes como el éxito más visible del nuevo programa de la NASA.

<sup>‡‡</sup> La prensa internacional denominó a la SDI de Reagan como la “Guerra de las Galaxias”, en atención a los elementos futurísticos que proponía. La SDI fue abandonada poco tiempo después, y miles de millones de dólares más tarde, cuando se comprendió la futilidad de tales propósitos.

Figura 3. Descripción de los datos primarios mediante sendos modelos de regresión lineal. Para más detalles: Consulte el texto del presente ensayo.



Fuente: Construcción propia del autor.

Hasta el lanzamiento del *Challenger*<sup>§§</sup> se habían acumulado 24 misiones. La Figura 2 muestra la distribución de los anillos O recuperados al término de cada misión<sup>\*\*\*††</sup>. Llama la atención de que, de los 138 anillos recuperados, solo 9 (6.5 %) de ellos estaban dañados. Esta circunstancia ya habla de la importancia de que los elementos negativos (o por la misma razón, no positivos) sean parte de cualquier análisis estadístico-matemático ulterior<sup>†††</sup>.

<sup>§§</sup> El *Challenger* era la tercera encarnación del sistema de lanzaderas de la NASA, después del *Discovery* y el *Endeavor*.

<sup>\*\*\*</sup> Los datos empleados en el análisis estadístico-matemático se recuperaron de: [http://www.math.usu.edu/~symanzik/teaching/2009\\_s\\_tat6560/RDataAndScripts/sharif\\_abbass\\_project1\\_challenger.csv](http://www.math.usu.edu/~symanzik/teaching/2009_s_tat6560/RDataAndScripts/sharif_abbass_project1_challenger.csv). Fecha de última visita: 15 de Febrero del 2023.

<sup>†††</sup> Se hace notar que no se recuperaron los motores de la misión 4.

<sup>†††</sup> No debe extrañar el número (pequeño) de anillos O encontrados defectuosos al término de cada misión, dadas las estrictas normas de seguridad de construcción y operación imbuidas en el transbordador.

La Figura 3 reinterpreta los datos primarios en relación con la temperatura ambiente en el día del lanzamiento de la misión. En una primera aproximación, muchos concluirían que el número de anillos dañados es (aparentemente) independiente de la temperatura exterior. Para colmo de imposibles, los ingenieros aventuraron que, de existir una relación, ésta se describiría mediante una recta. Pero es aquí donde debemos plantearnos si una recta es siempre la primera, mejor y única solución posible para un problema de regresión, y si otros modelos más complejos sean en realidad los más adecuados.

Si se escrutan mejor los datos expuestos en la Figura 3, se hace inmediato que la relación entre la temperatura ambiente y el número de anillos dañados se describe mejor por una parábola que tiene su vértice en las temperaturas entre los 60 y los 80 °F, y cuyas ramas se abren para rangos extremos de temperatura.<sup>8-10</sup> Entonces, si la inspección de los datos sugiere que una relación parabólica (o lo que es lo mismo, un polinomio de segundo grado) es una mejor descriptora del impacto de la temperatura ambiente sobre la integridad de la lanzadera, entonces la función a emplear en el problema de regresión adoptaría la forma

$$Y = \alpha + \beta * \text{Temperatura exterior} + \delta * \text{Temperatura exterior}^2 + \varepsilon \quad [1]$$

En la expresión anterior, el término  $\varepsilon$  denota el error aleatorio intrínseco en el diseño del problema de regresión y el muestreo de las unidades de análisis, y que se expresa por la varianza del error medio residual.

Por otro lado, la pregunta que debió haberse hecho es: ¿Cuál es la probabilidad (o por la misma razón, el riesgo) de que el número de anillos O dañados sea tal que ponga en peligro la estructura de la lanzadera, y con ello, el éxito de la misión, ante los cambios en la temperatura exterior? Entonces, Y no sería más el número de anillos O dañados, sino una variable que adoptaría valores entre 0 y 1, con Y = 0 indicando la ausencia de riesgo; mientras que Y = 1 apuntaría hacia un riesgo máximo<sup>§§§</sup>.

La función logística sería una que evaluaría cómo cambia (exponencialmente hablando) la probabilidad de ocurrencia de un evento binario a medida que se modifica la variable que se adopte como predictora (léase también independiente). Este cambio en la variable dependiente Y queda “atrapado” dentro del término “ODDS”<sup>\*\*\*\*</sup>:

$$\text{ODDS} = \frac{\text{Pr}(Y = \text{Suceso})}{\text{Pr}(Y = (1 - \text{Suceso}))} \quad [2]$$

$$\text{ODDS} = \frac{\text{Pr}(Y = \text{Suceso})}{\text{Pr}(Y = \text{Fracaso})} \quad [3]$$

<sup>§§§</sup> La consecución de un modelo lineal simple en este tipo de problema resultaría en valores estimados del número de anillos O en desacuerdo con la realidad. Así, para una temperatura ambiental de 20°F en la mañana del lanzamiento, el número de anillos O dañados sería de (aproximadamente) 3. Si recurrimos al modelo parabólico, el número sería de (aproximadamente) 10. ¿Qué decisión tomar?

<sup>\*\*\*\*</sup> La mejor traducción del término “ODDS” sería “posibilidades”. La posibilidad de ocurrencia de un fenómeno bajo la sola influencia del azar es intuitiva. Si se quiere obtener un “6” en un dado que se arroja sobre una mesa, la posibilidad estaría dada por: Posibilidad = {Obtención de un “6”}/ {Obtención de un “No 6”} = (1/6)/(1/(6 - 1)) = (0.17/0.20) = 0.85. Esto es: hay 5 posibilidades contra 6 de obtener un “6” (antes que un “No 6”) en el lanzamiento del dado. De hecho, las “posibilidades” favorecerían siempre la obtención de un “No 6”.

A los fines de la presente exposición, las ODDS se definen como la posibilidad de que ocurra un anillo dañado respecto de otro no dañado:

$$\text{ODDS} = \frac{\text{Pr}(Y = \text{Anillo dañado})}{\text{Pr}(Y = \text{Anillo no dañado})} \quad [4]$$

Como son eventos excluyentes, cabe también que:

$$\text{ODDS} = \frac{\text{Pr}(Y = \text{Anillo dañado})}{\{1 - \text{Pr}(Y = \text{Anillo dañado})\}} \quad [5]$$

Si existiera una dependencia del número de anillos dañados respecto de la temperatura ambiente, entonces la posibilidad (dada por ODDS) cambiaría a medida que cambia también la temperatura exterior T, esto es:

$$\text{ODDS} = \frac{\text{Pr}(Y = \text{Anillo dañado})}{\text{Pr}(Y = \text{Anillo no dañado})} = f(T | \theta) \quad [6]$$

En la expresión anterior, el término  $\theta$  denotaría un vector contentivo de los parámetros del modelo logístico que describirían la dependencia de las ODDS de un incidente que afecte a uno (al menos) de los anillos O respecto de la temperatura ambiental.

La función logística es suficientemente flexible como para acomodar el polinomio de segundo grado expuesto más arriba. Ello se comprueba si se introduce el logaritmo de las posibilidades ODDS:

$$\text{Log(ODDS)} = \alpha + \beta * \text{Temperatura exterior} + \delta * \text{Temperatura exterior}^2 + \varepsilon \quad [7]$$

$$\text{Log(Anillos dañados / Anillos no dañados)} = \alpha + \beta * \text{Temperatura exterior} + \delta * \text{Temperatura exterior}^2 + \varepsilon \quad [8]$$

Después que se incorpora este polinomio dentro de la función logística, se obtiene el gráfico expuesto en la Figura 4<sup>†††††††††</sup>. Ahora estamos en mejores condiciones de explicar qué fue lo que pasó en aquel fatídico día<sup>§§§§</sup>. A una temperatura de 31°F (≡ -1.0°C), la posibilidad de daño de uno (o más) de los anillos O es del 99.0 % (IC 95 %: 97.0 – 101.0 %). Dicho con otras palabras: a la temperatura ambiente registrada en el día de lanzamiento, se anticiparía que todos los anillos O estarían dañados.

### ***Sobre la inferencia en presencia de la abundancia de ceros***

El análisis forense de la tragedia del *Challenger* plantea un problema estadístico desacostumbrado. Si todo sale bien, cabe

<sup>††††</sup> Un refinamiento posterior del modelo de regresión logística implicaría la eliminación del parámetro  $\alpha$  que se correspondería con el intercepto, esto es: el valor esperado de la variable Y bajo la hipótesis nula  $H_0$ : la temperatura ambiente no influye en la elasticidad del anillo O.

<sup>††††</sup> La bondad de ajuste de un modelo estadístico se describe, de entre varios indicadores, mediante la desviación (del inglés *deviance*). Luego, un modelo describiría mejor los datos actuales mientras menor sea la desviación.

<sup>§§§§</sup> El Dr. Feynman demostró dramáticamente en las sesiones de la Comisión presidencial el efecto de la temperatura sobre la elasticidad de los anillos O. Para ello, solicitó un vaso de agua helada en el que sumergió uno de los anillos O empleados en la construcción de los motores auxiliares. Transcurrido un tiempo prudencial, el Dr. Feynman deformó intencionalmente el anillo para después mostrar que éste no recuperaba su aspecto original.

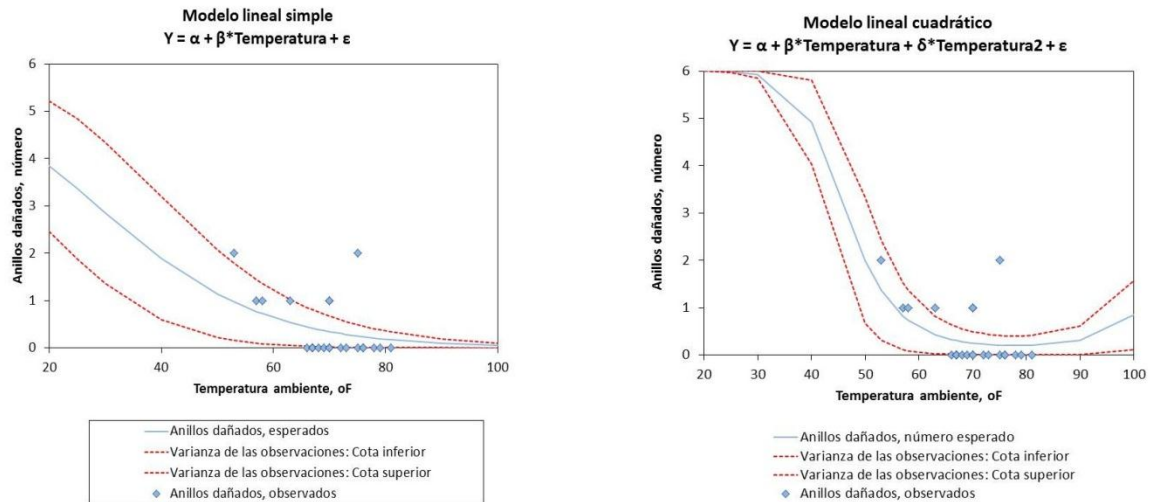
esperar que ninguno de los anillos O recuperados se muestre dañado. De hecho, de la inspección del histograma de frecuencias con el número de anillos O dañados de entre los recuperados que se expone en la Figura 1, entonces comprobaremos que predominan los no dañados (o lo que es lo mismo: los sanos) sobre los dañados.

La preponderancia de los anillos O no dañados puede afectar la efectividad del modelo logístico al incrementar desmesuradamente el error de estimación de los parámetros del mismo. Papke & Woolbridge (1996)<sup>11</sup> han propuesto una solución del problema de la sobreabundancia de ceros mediante la construcción de un estimador *sandwich* de la matriz que contiene las varianzas-covarianzas de los parámetros del modelo. De esta manera se obtienen intervalos de confianza más ilustrativos de la realidad.

### ***Consideraciones finales***

El problema de la sobreabundancia de ceros apunta en otra dirección. En condiciones naturales, cabe esperar hasta 2 anillos dañados al final de cada misión dentro de un rango “aceptable” de valores de la temperatura ambiente. Que el número de anillos dañados (antes de la fatídica misión #24) sea del 6.5 % indica que este comportamiento es solo ligeramente mayor que el esperado del 5.0 %; y corrobora la efectividad de los programas de dirección y control de las misiones. En consecuencia, 3 (por no decir ni 4, ni 5 ni 6) anillos dañados serían incompatibles con la seguridad de la misión.

Figura 4. Dependencias entre el número de anillos dañados y la temperatura ambiente. Se muestran los resultados del ajuste de un modelo logístico con funciones lineales diferentes. Izquierda: Un modelo lineal que expresa una dependencia simple (léase también directa) entre las variables:  $\text{Log(ODDS(Anillos dañados, número))} = 1.90 - 0.07 * \text{Temperatura ambiente (}^\circ\text{F)}$ . Derecha: Un modelo lineal que expresa una dependencia parabólica (léase también cuadrática):  $\text{Log(ODDS(Anillos dañados, número))} = 16.921 - 0.517 * \text{Temperatura ambiente (}^\circ\text{F)} + 0.003 * \text{Temperatura ambiente}^2 \text{(}^\circ\text{F)}$ . Este modelo expresa que, en base a los datos colectados, el lanzamiento del transbordador en condiciones extremas de la temperatura ambiente significaría el daño de todos los anillos.



Fuente: Construcción propia del autor.

Por otro lado, y en un hecho anecdótico, en la cuarta misión del transbordador no se pudieron recuperar los motores para el examen del estado de los anillos. De acuerdo con el modelo discutido en este ensayo, se puede examinar el impacto probable de la temperatura ambiente si se asume que el número de anillos dañados en esta misión fuera de 0, 1 ó 2.

## CONCLUSIONES

Los valores no positivos (en el sentido matemático de la palabra) y negativos (en el sentido filosófico del término) son parte indisoluble del proceso de la investigación científica, y deben ser tenidos en cuenta en la elaboración de diagnósticos e inferencias. La ocurrencia de los mismos puede indicar la operación del sistema objeto de análisis en

condiciones naturales. La exclusión de los valores no positivos y negativos del tratamiento estadístico-matemático de los resultados puede resultar en graves sesgos y malinterpretaciones de la realidad, cuando no daños a terceras partes.

## FUTURAS EXTENSIONES

El problema de la tragedia del *Challenger* puede ser también examinado mediante la administración de un modelo predictivo basado en la distribución Poisson. La distribución Poisson ha sido propuesta para el análisis y modelamiento de eventos infrecuentes. De hecho, se han propuesto estrategias ZIP (del *Zero-Inflated Poisson*) para el tratamiento estadístico-matemático de los resultados de, y el diagnóstico de la



operación de, un proceso Poisson que emite una sobreabundancia de ceros.<sup>12</sup>

## NOTAS ADICIONALES

El autor coloca a disposición de los lectores interesados los datos primarios de las misiones del transbordador “Challenger”, y los algoritmos empleados en el tratamiento estadístico-matemático y el análisis de los resultados. Se han cuidado la captación de los datos primarios de las fuentes anotadas, y la exactitud de las maquinarias de estimación de los parámetros de los modelos logísticos expuestos. Cualquier error presente que afecte la interpretación de los resultados expuestos en este ensayo es solo responsabilidad del autor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Culebras Fernández JM. Resultados negativos, cincuenta por ciento del conocimiento. *JONNPR* 2016;1:1-2.
2. Culebras-Fernández JM, Franco-López Á. Negativo es positivo. *Medicina Seguridad Trabajo* 2016;62(245):290-2.
3. Gupta SK. Intention-to-treat concept: A review. *Persp Clin Res* 2011;2:109-12.
4. Wakefield AJ, Murch SH, Anthony A, Linnell J, Casson DM, Malik M; *et al.* **RETRACTED:** Ileal-lymphoid-nodular hyperplasia, non specific colitis, and pervasive developmental disorder in children. *The Lancet* 1998;9103:637-41. Disponible en: [http://doi:10.1016/S0140-6736\(97\)11096-0](http://doi:10.1016/S0140-6736(97)11096-0). Fecha de última visita: 16 de Octubre del 2022.
5. General Medical Council. Andrew Wakefield: Determination on serious professional misconduct and sanction 24 May 2010. Disponible en: [http://www.gmc-uk.org/Wakefield\\_SPM\\_and\\_SANCTIO\\_N.pdf\\_32595267.df](http://www.gmc-uk.org/Wakefield_SPM_and_SANCTIO_N.pdf_32595267.df). Fecha de última visita: 16 de Octubre del 2022.
6. Space Shuttle *Challenger* disaster. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_Shuttle\\_Challenger\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_Challenger_disaster). Fecha de última visita: 16 de Febrero del 2023.
7. Rogers WP, Armstrong NA, Acheson DC, Covert EE, Feynman RP, Holtz RB; *et al.* Report of the Presidential Commission of the Space Shuttle Challenger accident. Document number AD-A171402. Washington DC: 1986. Disponible en: <http://ntrs.nasa.gov/citations/19860015255>. Fecha de última visita: 16 de Febrero del 2024.
8. Tappin L. Analyzing data relating to Challenger disaster, *Mathematics Teacher* 1994;87:423-6.
9. Dalal S, Fowlkes EB, Hoadley B. Risk analysis of the space shuttle: Pre-Challenger prediction of failure. *J Am Stat Assoc* 1989;84:945-57.
10. Lavine M. Problems in extrapolation illustrated with space shuttle O-ring data. *J Am Stat Assoc* 1991;86:912-22.
11. Papke LE, Wooldridge JM. Econometric methods for fractional response variables with an application to 401(k) plan participation rates. *J Appl Econometr* 1996;11:619-32.
12. Lambert D. Zero-inflated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing. *Technometrics* 1992; 34:1-14.