

# Valoración económica para el diseño de un programa de medición de la concentración de radón-222 en las viviendas de la ciudad de Puno – 2024

## Economic evaluation for the design of a program for measurement of radon-222 concentration in housing in the city of Puno – 2024

Guido Quispe Lima<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Altiplano, Puno Av. Floral 1153

### Resumen

La importancia de medir la concentración de radón-222 permite evaluar el riesgo de exposición a este gas radiactivo. El objetivo fue estimar económicamente la disponibilidad de pago de los pobladores de la ciudad de Puno por los beneficios en la salud, para la prevención de cáncer en los pulmones de las familias y estimar así la disponibilidad a pagar (DAP) usando el método de valoración contingente. Se realizó una encuesta a 188 viviendas de la ciudad de Puno. El método de valoración contingente (MVC) permitió encontrar la valoración económica, esta valoración se estimó usando el modelo Logit y probit que al hacer una capacidad predictiva de la curva ROC y el área bajo la curva (AUC) obteniendo valores de (Logit: AUC = 0,8791; Probit: AUC = 0,8784) ambos dan muy buenos resultados, pero con una ventaja marginal para el modelo Logit, para realizar el diseño de un programa de medición de la concentración de radón-222 en las viviendas de la ciudad de Puno. El 64,89 % de jefes de hogar de la población, declaro estar dispuesto a pagar S/ 24,76 soles por única vez por vivienda encuestada. Esto indica un monto que asigna la familia al beneficio que generaría el diseño de dicho programa. Sus variables que incidieron en la toma de la decisión fueron: nivel de ingreso, nivel de educación, área de la vivienda, tamaño de hogar y sexo, posible existencia de radon-222 y ubicación de la vivienda.

**Palabras clave:** Valoración Contingente, Logit-probit binomial, Disposición a Pagar (DAP), Radón-222.

### Abstract

The importance of measuring the concentration of radon-222 makes it possible to assess the risk of exposure to this radioactive gas. The objective was to economically estimate the willingness of the inhabitants of the city of Puno to pay for health benefits for the prevention of cancer in the lungs of families and thus estimate the willingness to pay (DAP) using the contingent valuation method. A survey was carried out in 188 homes in the city of Puno. The contingent valuation method (CVM) allowed finding the economic valuation, this valuation was estimated using the Logit and probit model that by making a predictive capacity of the ROC curve and the area under the curve (AUC) obtaining values of (Logit: AUC = 0.8791; Probit: AUC = 0.8784) both give very good results, but with a marginal advantage for the Logit model, to carry out the design of a program to measure the concentration of radon-222 in the houses of the city of Puno. 64.89% of heads of household in the population stated that they were willing to pay S/ 24.76 soles for a single time per surveyed home. This indicates an amount that the family assigns to the benefit that the design of said program would generate. Its variables that influenced the decision were income level, education level, housing area, household size and sex, possible existence of radon-222 and location of the dwelling.

**Keywords:** Contingent Valuation, Binomial Logit-Probit, Willingness to Pay (WTP), Radon-222.

**Recibido:** 08 oct. 2024

**Aceptado:** 27 dic. 2024

**Publicado:** 30 dic. 2024

\***Autor para correspondencia:** [gquispel@epg.unap.edu.pe](mailto:gquispel@epg.unap.edu.pe)

**Cómo citar:** Quispe Lima, G. (2024). Valoración económica para el diseño de un programa de medición de la concentración de radón-222 en las viviendas de la ciudad de Puno – 2024. *Revista de Investigaciones*, 13(4), 210-215. <https://doi.org/10.26788/ri.v13i4.6577>

## Introducción

Desde hace un largo periodo se han realizado evaluaciones de los niveles de Radón-222 en las viviendas, sin embargo, hace relativamente poco tiempo que se ha enfocado en espacios laborales diferentes a las minas. Sin embargo, la UNSCEAR, en su informe denominado: Fuentes y Efectos de Radiaciones Ionizantes, ha proporcionado una estimación aproximada de la dosis efectiva anual global que un trabajador, que no trabaja en minas, recibe por Radón-222, representando este valor en 4.8 mSv. (Guevara, 2018); por ser un gas no muy detectable por la población, causando cáncer directamente a los pulmones y siendo la segunda causa de muerte en el mundo (OMS, 2022; OPS, 2022), se debe actuar de manera rápida en la implementación de un plan de medición de la concentración de gas radon-222 dentro de sus viviendas de cada poblador de la ciudad de Puno (Ambiental, 2017; Noverques, 2017).

La teoría del valor económico parte de un enfoque antropocéntrico. Trata de asignar un valor económico a todo lo que pueda ser de utilidad para las personas, sean estas consumidoras o productoras. Este enfoque del VET propone que un bien o servicio ambiental (El aire puro, el agua puro, paisajes, la biodiversidad) es la suma de valores de uso y valores de no uso (Azqueta, 1994; Reid et al., 2018; UNAL, 2014; Varian, 2010)

Actualmente la emanación del suelo de gas radon-222 se ve reflejado en problemas de continuidad de salud, cáncer, problemas de respiración en familias (009-97-EM, 2018; OMS, 2015), e incrementando las probabilidades de posibles enfermedades a largo plazo, dentro de las familias y por consiguiente un mayor daño a personas de la tercera edad y generando un gasto en el bolsillo familiar (García, 2017).

El objetivo de la investigación fue estimar valoración económica para el diseño de un programa de medición de la concentración de radón-222 en las viviendas de la ciudad de Puno – 2024, que se encontró para la población de Puno en beneficio para generar el mejoramiento del diseño de un programa para la medición de la concentración de radon-222 en sus viviendas según indican (Huarachi, 2019; Isidro, 2017; Lipa, 2019).

Sumándose a esto, un programa de medición de radon-222 un problema ambiental en la actualidad que se encuentra en las viviendas de hogar (Ancaya, 2015; Aswood et al., 2022; Burga, 2017; C. J. Guevara, 2019; Janampa, 2020; Loría et al., 1993; Pereyra, 2014), carecen de un precio de mercado para su valorización (De & Pública, 2015), lo que llevaría a la necesidad de instrumentos en la política para la dirección en la toma de decisiones (Iwan et al., 2017)\_, por lo cual es necesario metodologías basadas en un mercado hipotético que reflejen un valor monetario (Tudela et al., 2011; Vasquez et al., 2018) para poder aclarar las compensaciones involucradas y así establecer el objetivo de la política en un fin eficaz (Bartkowski et al., 2020).

## Métodos

### Lugar de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Puno, ubicada entre las coordenadas geográficas 15° 50' 15" S 70° 01' 18" O. Su extensión abarca desde el centro poblado de Uros Chulluni al noreste, la zona urbana del distrito de Paucarcolla al norte, la urbanización Ciudad de la Humanidad Totorani al noroeste (carretera a Arequipa) y se extiende hasta el centro poblado de Ichu al sur y la comunidad "Mi Perú" al suroeste (carretera a Moquegua) (INEI, 2018; Multisectorial, 2023).

En este estudio, el tamaño de la muestra se refleja en un grupo de hogares de la ciudad de Puno. El total de viviendas que se tomaran es de 51.564 y se considerará 9 sectores, se excluye las últimas tres columnas y el sector del centro poblado de los la isla los Uros, según definido en el plan de desarrollo urbano (INEI, 2022; Puno, 2012).

### Descripción de Métodos

Los precios hipotéticos planteados en el presente proyecto se calcularon preguntando en una encuesta piloto el máximo y el mínimo, se hizo una pregunta abierta para luego tabularlo y sobre esa base se estableciera el rango mínimo de 10 soles y como rango máximo de 30 soles.

El tamaño de la muestra se determinó usando el método de proporciones, asignando  $p=0.6$  y  $q=0.4$  según la encuesta de satisfacción realizada a 50

jefes de hogar de la población, este procedimiento garantiza el mayor tamaño de la muestra a considerar en el presente proyecto. La fórmula que se usó para determinar la muestra es:

$$n = \frac{NZ^2pq}{NE^2 + Z^2pq} \approx 188 \text{ viviendas}$$

Se utilizó el método de valoración contingente y la estructura del modelo de disposición a pagar tipo referéndum el individuo representativo aceptará el proyecto que implica mejoras en la calidad de salud si y sólo si, la utilidad generada realizando el pago para acceder al proyecto de la valoración económica para el diseño de un programa de medición de la concentración de radón-222 (DAP) sea mayor o igual a la utilidad que percibe actualmente sin la mejora (Hanemann, 1984; Tudela et al., 2011).

$$Prob(SI) = \alpha_0 + \beta PREC + \sum_{i=1}^k \alpha_i S_i$$

y para el cálculo econométrico, en un modelo logit, para calcular la probabilidad, la función de verosimilitud también se representa de la forma siguiente:

$$\frac{\partial (lnL)}{\partial \beta^i} = S(\beta^i) = x_i \sum_{i=1}^k x_i y_i - \prod_{i=1}^n \left[ \frac{e^{(\beta^i x_i)}}{1 + e^{(\beta^i x_i)}} \right] = 0$$

en este estudio, se propuso el modelo econométrico específico binomial a estimar de la siguiente forma:

$$Prob(Si) = \alpha_0 + \beta PREC + \alpha_1 PAM + \alpha_2 ING + \alpha_3 EDU + \alpha_4 GEN + \alpha_6 TAH + \alpha_7 EDAD + \alpha_8 SO + \alpha_9 UV + \alpha_{10} AV + \varepsilon_t$$

## Resultados y discusión

Los encuestados están dispuestos a pagar por el programa, lo que refleja un interés significativo en abordar el riesgo asociado con la exposición al Radón-222. Por otro lado, un 35,11 % no estaría dispuesto a financiarlo, lo que podría deberse a factores económicos, falta de percepción del riesgo u otras prioridades.

Según los resultados de los modelos Logit y Probit, todas las variables independientes fueron significativas, excepto las variables sótano y edad. Para seleccionar el modelo más adecuado,

se evaluaron diversos criterios de decisión. Entre estos, la curva ROC y el área bajo la curva (AUC) destacan como herramientas fundamentales para medir la capacidad de los modelos en clasificar correctamente las observaciones en las categorías 0 y 1.

**Tabla 1**

*Resultados de la Disposición a pagar por el programa Radón-222*

DAP	Freq.	Percent	Cum.
0	66	35,11 %	35,11 %
1	122	64,89 %	100 %
Total	188	100 %	

**Tabla 2**

*Disposición a pagar por el programa Radón-222, según precio hipotético en soles*

Precio en Soles	No está dispuesto a pagar	Si está dispuesto a pagar	Total
10	27 36,99 %	46 63,01 %	73 100 %
15	11 26,83 %	30 73,17 %	41 100 %
20	9 18,75 %	39 81,25 %	48 100 %
25	9 90 %	1 10 %	10 100 %
30	10 62,5 %	6 37,5 %	16 100 %
Total	66 35,11 %	122 64,89 %	188 100 %

Las variables más significativas como ingreso (ING), educación (EDU) y área de la vivienda (AV) son muy significativas y relevantes en la disposición a pagar por los miembros de hogar por vivienda (Tabla 3).

Los resultados obtenidos al correr el modelo en STATA y N-Logit, indican una disposición positiva de los habitantes de Puno a financiar el programa de medición de radón-222 en sus viviendas. La media de 24,76 soles sugiere que existe un interés considerable en abordar este problema, posiblemente debido a la percepción de los riesgos asociados con la exposición al radón (Tabla 4).

**Tabla 3**  
*Resultados de efecto marginal del modelo Logit*

Variable	Efecto marginal	Nivel de signif	[95% conf. interval]
PREC (precio)	-0,018	1 %	[-0,026, -0,009]
PAM (percepción ambiental)	0,164	5 %	[0,028, 0,300]
ING (ingreso)	0,056	1 %	[0,017, 0,096]
EDU (educación)	0,172	1 %	[0,105, 0,240]
GEN (genero)	-0,122	10 %	[-0,248, 0,003]
TAH (tamaño de hogar)	0,053	5 %	[0,015, 0,090]
AV (área de vivienda)	0,077	1 %	[0,025, 0,128]

**Tabla 4**  
*Resultados de la disponibilidad a pagar para el diseño de un programa de medición de la concentración de radón-222 en las viviendas de la ciudad de Puno*

Variable	Obs	Mean	Std. err.	[95% conf. interval]
DAP1	188	24,76	1,33	22,14 27,39

## Conclusiones

La relación a las variables socioeconómicas influyentes en la disposición de pago por la implementación de un programa de medición de gas radón-222 en las viviendas de la ciudad de Puno se encontraron al: ingreso, nivel educativo, percepción ambiental, género, tamaño de hogar y el área de la vivienda con una relación positiva y en cuanto al género los hombre si estarían dispuestos a asumir el programa, así también la ubicación de la vivienda y si cuenta con sótano con una relación negativa es decir no tiene mayor relevancia y la probabilidad en la disposición de pago disminuye.

También estudio revela que un 64,89 % de los encuestados está dispuesto a pagar por el programa de medición de Radón-222, con una mayor aceptación a un precio mínimo de 15 soles y un precio máximo de 20 soles, mientras que la disposición disminuye drásticamente a precios superiores a 25 soles. Además, se observa una correlación positiva entre el nivel de ingresos y la disposición a pagar, lo que sugiere la necesidad

de implementar campañas de sensibilización para aumentar el conocimiento sobre los riesgos del Radón-222 y fomentar la aceptación del programa, especialmente entre hogares de menores ingresos.

Podemos también concluir que para el cálculo de la DAP se utilizó un modelo Logit, descartándose el modelo probit, según este modelo las variables que inciden en esta decisión son: el precio hipotético a pagar (PREC), ingreso (ING), educación (EDU), percepción de presencia de gas radón en sus viviendas (PAM), tamaño de hogar (TAH), género (GEN), cuenta con sótano (SO), ubicación de la vivienda (UV) y el área de las viviendas (AV). Existe una relación lógica entre la variable dependiente y las variables independientes. Según los resultados de la curva ROC y el área bajo la curva (AUC) indican que, el modelo Logit presentó un AUC ligeramente superior (Logit: AUC = 0,8791; Probit: AUC = 0,8784), lo que indica una excelente capacidad predictiva en ambos casos, aunque con una ventaja marginal para el modelo Logit.

Los resultados de las encuestas revelan que el 64,89 % de la población está dispuesta a pagar (DAP) por la implementación del programa y el pago por única vez por familia es de S/ 24,76 para viabilizar y para la implementación del programa para la medición de concentración de gas radón-222 en las viviendas de la ciudad de Puno, este monto indica el valor que la población Puneña asigna al beneficio que se ejecute el proyecto. El valor potencial estimado a partir de la DAP para todas las viviendas de la ciudad de Puno según el modelo Logit por la medición de gas radon-22 por única vez es de S/ 1276724,64 soles, con base en estos resultados, la Municipalidad Provincial de Puno conjuntamente con el área de medio ambiente y el MINSA. pueden tomar decisiones sobre la viabilidad financiera de cualquiera de las alternativas técnicas existentes para la implementación de un plan de medición de concentración de gas radón-222 en las viviendas de la ciudad de Puno.

## Referencias

009-97-EM, D. (2018). *Reglamento de seguridad radiologica*. [https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/CenDocBib/con5\\_uibd.nsf/\\$\\$ViewTemplateforDocumentos?](https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/CenDocBib/con5_uibd.nsf/$$ViewTemplateforDocumentos?)

[OpenForm&Db=DEB2F9B6D9E7DFE50525830E00767DE6&View=yyy](https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/download/858/819)

geográficos que indiquen la concentración de gas radón en diferentes.

- Ambiental, M. (2017). Avances en el Plan Nacional contra el Radón. *ojs.diffundit.com*. <https://www.ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/download/858/819>
- Ancaya, B. A. P. (2015). *Estudio de la contaminación ambiental debido a elementos radiactivos naturales*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6658>
- Aswood, M., Sh Alhous, S. F., & Abdulridha, S. A. (2022). Life Time Cancer Risk Evaluation Due to Inhalation of Radon Gas in Dwellings of Al-Diwaniyah Governorate, Iraq. *Nature Environment and Pollution Technology*, 21(1), 331-337. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2022.V21I01.040>
- Azqueta, D. (1994). *Valoración económica de la calidad ambiental*.–Núm. 150, Octubre 1996–*Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente*–Libros y Revistas–VLEX 144979. <https://vlex.es/vid/azqueta-valoracion-economica-calidad-144979>
- Bartkowski, B., Bartke, S., Helming, K., Paul, C., Techen, A. K., & Hansjürgens, B. (2020). Potential of the economic valuation of soil-based ecosystem services to inform sustainable soil management and policy. *PeerJ*, 2020(3), e8749. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.8749/FIG-2>
- Burga, S. (2017). *Mapeo de Radón 222 en interiores en el Distrito de Los Olivos (Lima-Perú) del 2015 al 2016*. <https://search.proquest.com/openview/195824867198b0c30a0b875ae669ca0b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- De, U. P., & Pública, S. (2015). *Manual de la OMS Sobre el Radón en Interiores: Una perspectiva de salud Pública*. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671\\_spa.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671_spa.pdf)
- García, B. (2017). *El radón un problema de salud pública: importancia del desarrollo de mapas geográficos que indiquen la concentración de gas radón en diferentes*.
- Guevara, C. J. (2019). *Medición de radón 222 en Lima Metropolitana utilizando tres tipos de monitores con detectores de trazas nucleares*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14626>
- Guevara, V. Y. (2018). *Medición de Radón 222 en lugares de trabajo ubicados en sótanos*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12276>
- Hanemann, W. M. (1984). Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses. *American Journal of Agricultural Economics*, 66(3), 332-341. <https://doi.org/10.2307/1240800>
- Huarachi, Z. (2019). *Valoración económica del agua y los beneficios del proyecto sistema integral lagunillas en el distrito de Mañazo 2018*. Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11929>
- INEI. (2018). *Instituto nacional de estadística e informática Puno*.
- INEI. (2022). *Compendio Estadístico, Puno 2022– Informes y publicaciones–Instituto Nacional de Estadística e Informática–Plataforma del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/4134032-compendio-estadistico-puno-2022>
- Isidro, S. (2017). *Valoración económica por servicios ecoturísticos de la isla de Taquile del lago Titicaca aplicando los métodos del costo de viaje y valoración contingente*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/23069>
- Iwan, A., Guerrero, E. M., Romanelli, A., & Bocanegra, E. (2017). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de una Laguna del sudeste bonaerense (Argentina). *Investigaciones Geográficas*, 68, 173-189. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.10>

- Janampa, J. M. M. (2020). *Exposición de detectores LR115 y CR39 a diferentes distancias respecto de una pared*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.1FsUdVpugE8yog8HYw%3A1671369659666&ei=uxOfY5umKMTW1sQPyNmE6Ac&ved=0ahUKEwjb7-iWoYP8AhVEq5UCHcgsAX0Q4dUDCA8&uact=5&oq=alpha+guard+medidor+de>
- Lipa, R. (2019). Disponibilidad a pagar por el servicio de agua potable en la ciudad de Lampa–2017. *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10378>
- Loría, L., Jiménez, R., Marcha, M. G.-T. en, & 1993, U. (1993). Estudio preliminar de la contaminación por gas radón en recintos habitacionales en Costa Rica. *dialnet.unirioja.es*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5678832>
- Multisectorial, C. (2023). *PUNO ESTADISTICAS*. <https://www.mimp.gob.pe/adultomayor/regiones/Puno2.html>
- Noverques, A. (2017). *Desarrollo de metodologías para la realización de mediciones de exhalación de Radón 222*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/87278>
- OMS. (2015). *Manual de la OMS sobre el radón en interiores: una perspectiva de salud pública*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/161913>
- OMS, O. M. de la S. (2022). *Cáncer*. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/cancer>
- OPS, O. P. de la S. (2022). *OPS/OMS | Expertos regionales discuten enfoques para el tamizaje y detección temprana del cáncer de próstata en las Américas*. [https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13818:regional-experts-discuss-approaches-for-prostate-cancer-screening-and-early-detection-in-the-americas&Itemid=42459&lang=es](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=13818:regional-experts-discuss-approaches-for-prostate-cancer-screening-and-early-detection-in-the-americas&Itemid=42459&lang=es)
- Pereyra, P. (2014). Mediciones de la Concentración de Radón 222 en residencias de Lima, Perú. *ISSSD 2014 April 13 to 16th, 2014. Cusco, Peru*. [http://files.red-lara.webnode.com.ve/200000075-0be050cda4/Radon\\_Peru\\_Patricia\\_Pereyra.pdf](http://files.red-lara.webnode.com.ve/200000075-0be050cda4/Radon_Peru_Patricia_Pereyra.pdf)
- Puno, M. (2012). *capitulo ii evolucion urbana de la ciudad de puno*–Buscar con Google.
- Reid, W., Mooney, H., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S., Chopra, K., Dasgupta, P., & Dietz, T. (2018). *Professor Jim Harris Department of Natural Resources*–Buscar con Google.
- Tudela, J. W., Martínez Damián, M. Á., Valdivia Alcalá, R., Romo Lozano, J. L., Portillo Vázquez, M., & Rangel González, R. V. (2011). Valoración económica de los beneficios de un programa de recuperación y conservación en el Parque Nacional Molino de Flores, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 231-244. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2010.05.033>
- UNAL, R. (2014). *Metodologías Actuales de Valoración*.
- Varian, H. R. (2010). *Microeconomía intermedia*. [https://www.academia.edu/39163995/Varian\\_Microeconomía\\_intermedia\\_5ta\\_edición](https://www.academia.edu/39163995/Varian_Microeconomía_intermedia_5ta_edición)
- Vasquez, F., Cerda, A., & Orrego, S. (2018). *Valoración económica del medio ambiente: fundamentos económicos, econométricos y aplicaciones*. [https://www.researchgate.net/publication/332720643\\_Valoracion\\_economica\\_del\\_medio\\_ambiente\\_fundamentos\\_economicos\\_econometricos\\_y\\_aplicaciones](https://www.researchgate.net/publication/332720643_Valoracion_economica_del_medio_ambiente_fundamentos_economicos_econometricos_y_aplicaciones)

