



PERÚ

Ministerio
de Salud

Viceministerio
de Salud Pública

Centro Nacional de
Epidemiología, Prevención
y Control de Enfermedades

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia"

CARGO

NOTA INFORMATIVA N° 539 -2021-CDC/MINSA

A : M.C.
GUSTAVO ROSELL DE ALMEIDA
Viceministro de Salud Pública
Ministerio de Salud



Asunto : Remito Informe Técnico N° 125-2021

Fecha : Lima, 08 NOV. 2021

Exp N° 21-136551-001

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y a la vez remito el Informe Técnico N°125-2021, correspondiente a la proyección de escenarios de la tercera ola de COVID-19 en el Perú, el cual ha sido elaborado por el equipo técnico del Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades – CDC Perú, para su conocimiento y fines pertinentes.

Sin otro particular, es propicia la oportunidad de expresar los sentimientos de mi mayor consideración y estima personal.

Atentamente,



MINISTERIO DE SALUD
CENTRO NACIONAL DE EPIDEMIOLOGÍA, PREVENCIÓN
Y CONTROL DE ENFERMEDADES - CDC
JULIO M. RUIZ OLANO
Director General

JMRO/CME/MRV/hslI



**PERÚ****Ministerio
de Salud****Viceministerio
de Salud Pública****Centro Nacional de
Epidemiología, Prevención
y Control de Enfermedades**

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

INFORME TÉCNICO

PROYECCIÓN DE ESCENARIOS DE LA TERCERA OLA DE COVID-19 EN EL PERÚ

CODIGO: IT - CDC N° 125-2021

I. ANTECEDENTES

De acuerdo con las fases de una pandemia, el Perú se encuentra en la fase post pico donde se pueden presentar eventos concurrentes como brotes no relacionados a una tercera ola, o una tercera ola de igual o mayor magnitud que la primera y la segunda (1, 2). Es importante resaltar que debido a la incertidumbre que se tiene sobre este virus es difícil hacer una predicción exacta de lo que va a suceder el próximo año o en los siguientes, porque están involucradas varias variables sobre las cuales no hay certeza (3-7). Lamentablemente el futuro de la pandemia de la enfermedad por el coronavirus 19 (COVID-19) tiene mucha incertidumbre debido a que muchas cosas se desconocen aún.

Un aspecto importante para tener en cuenta es si las personas desarrollan inmunidad duradera al virus(8), porque de esto depende si se logrará alcanzar fácilmente el umbral de la inmunidad de rebaño(4). Es decir, "la protección indirecta contra el virus que se produce cuando un porcentaje suficiente de una población se ha vuelto inmune a una infección, ya sea por vacunación o por infecciones previas, lo que reduce la probabilidad de infección para las personas que carecen de inmunidad"(4, 8, 9). Si la inmunidad contra el SARS-Cov-2 es duradera, la inmunidad de rebaño de 60 a 70% se podría alcanzar a través de campañas masivas de vacunación, con vacunas de alta efectividad(10).

Por otro lado, si las personas no desarrollan inmunidad duradera, es decir solo es temporal. En este escenario se presentarán brotes anuales o bianuales, dependiendo si la inmunidad dura menos de 40 o 100 semanas, respectivamente(11). Se sabe que los anticuerpos frente a otros coronavirus disminuyen con el tiempo (rango: 12 a 52 semanas desde el inicio de los síntomas) y se han demostrado casos de reinfección (12). Con respecto al SARS-Cov-2, la detección de anticuerpos contra el SARS-CoV-2 no indica una inmunidad protectora directa y aún no se han establecido correlaciones de protección para la COVID-19.

Además, algunos estudios muestran que la cantidad de anticuerpos alcanzan su punto máximo en los días posteriores a la aparición de los síntomas y luego comienzan a disminuir, hasta que los anticuerpos se hacen prácticamente indetectables en unos tres meses(13, 14). Sin embargo, muchos inmunólogos piensan que este hecho es una respuesta perfectamente normal a una infección viral(15), porque incluso si los niveles de anticuerpos descienden a niveles extremadamente bajos, las células B de memoria permanecen en la médula ósea hasta que regresa el virus, cuando adquieren una nueva identidad como células plasmáticas productoras de anticuerpos(16). Aún hay mucho que investigar en los aspectos relacionados a la inmunidad.

Otro aspecto clave, es la respuesta del gobierno y de los ciudadanos en la prevención de esta enfermedad, más aún en el escenario actual en el cual no todas las regiones del país tienen un nivel de avance similar respecto a la cobertura de vacunación (17). Por lo que es importante que las personas continúen con el cumplimiento del uso de mascarillas, así como el lavado de manos y el distanciamiento físico (7, 18, 19).

El cambio de comportamiento de la población es esencial y puede ayudar a prevenir nuevas infecciones (20, 21), pero este debe ser acompañado por el soporte del gobierno, implementando estrategias de cambio de comportamiento apoyadas en las ciencias sociales y del comportamiento (6, 21, 22). Por lo que la respuesta actual debe priorizar el fortalecimiento de la comunicación efectiva, el marketing social, y las intervenciones que lleven a que la población adopte las medidas preventivas para reducir el riesgo de infección y por ende de complicarse y morir.

Finalmente, el futuro de la pandemia de SARS-Cov-2, se encuentra en manos de cada uno de los ciudadanos que cumplan responsablemente las medidas preventivas y en la acción del gobierno



**PERÚ****Ministerio
de Salud****Viceministerio
de Salud Pública****Centro Nacional de
Epidemiología, Prevención
y Control de Enfermedades**

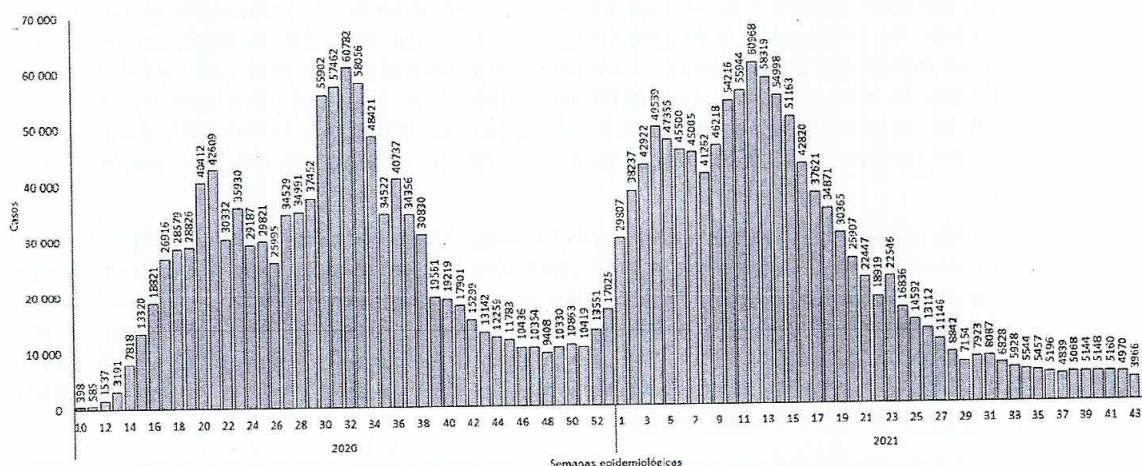
"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

que brinde las facilidades para que estas medidas se cumplan. En este contexto de gran incertidumbre, es necesario contar con estimaciones de algunos escenarios que orienten las acciones futuras sobre esta pandemia. Pero es necesario señalar que estos escenarios que a continuación se describirán, no son proyecciones exactas de lo que sucederá, sino solo una aproximación a lo que podría suceder teniendo cuenta algunos supuestos claves.

II. SITUACIÓN

Como se observa en la figura 01, la curva epidémica nacional de COVID-19 mantiene una tendencia estacionaria, con un promedio de 5000 casos semanales en las últimas semanas (sin considerar las dos últimas semanas), en las últimas semanas, el R_t ha fluctuado por debajo y encima de 1. El valor actual del R_t es de 0.89 (IC 95% 0.87 a 0.92) a nivel nacional, el R_t en las regiones del país está debajo de 1, a excepción de Cajamarca, Tumbes, Huanuco, Tacna y Moquegua (Ver Figura 2). Además, la mortalidad por COVID-19 y el exceso de mortalidad también presenta un descenso sostenido. Finalmente, las hospitalizaciones de pacientes COVID-19, así como las hospitalizaciones en UCI con tendencia al descenso.

Figura 01. Tendencia de casos confirmados de COVID-19, por fecha de inicio de síntomas, Perú 2020 – 2021



Elaborado por: Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades-MINSA
Fuente: Netlab INS/SISCOVID.

* Hasta el 07 de noviembre del 2021

De acuerdo con las simulaciones de los modelos matemáticos que se vienen realizando en este Centro Nacional, se estima que en los próximos meses continuará la actividad epidémica, si es que se mantiene el contexto actual. En este contexto, un punto clave para tener una idea de que ocurrirá en la tercera ola pandémica, es determinar el impacto de la pandemia de COVID-19 sobre las regiones del país, mediante la seroprevalencia de COVID-19 y la cobertura de vacunación, para estimar cuan cerca estamos frente a la inmunidad de rebaño.



PERÚ

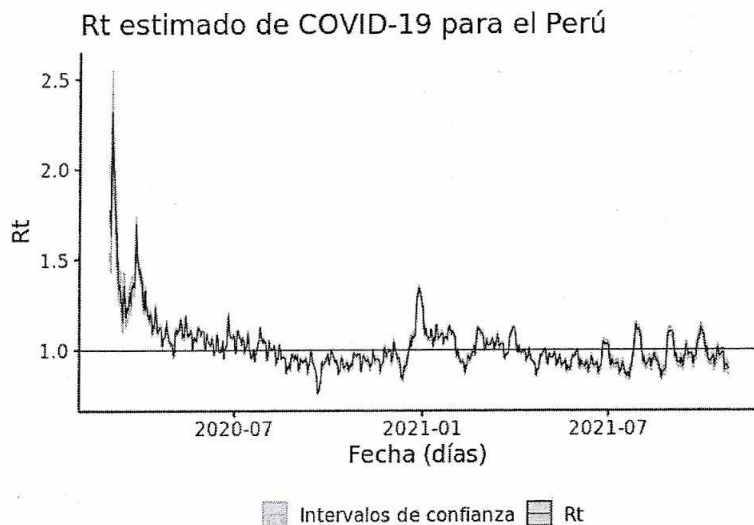
Ministerio
de Salud

Viceministerio
de Salud Pública

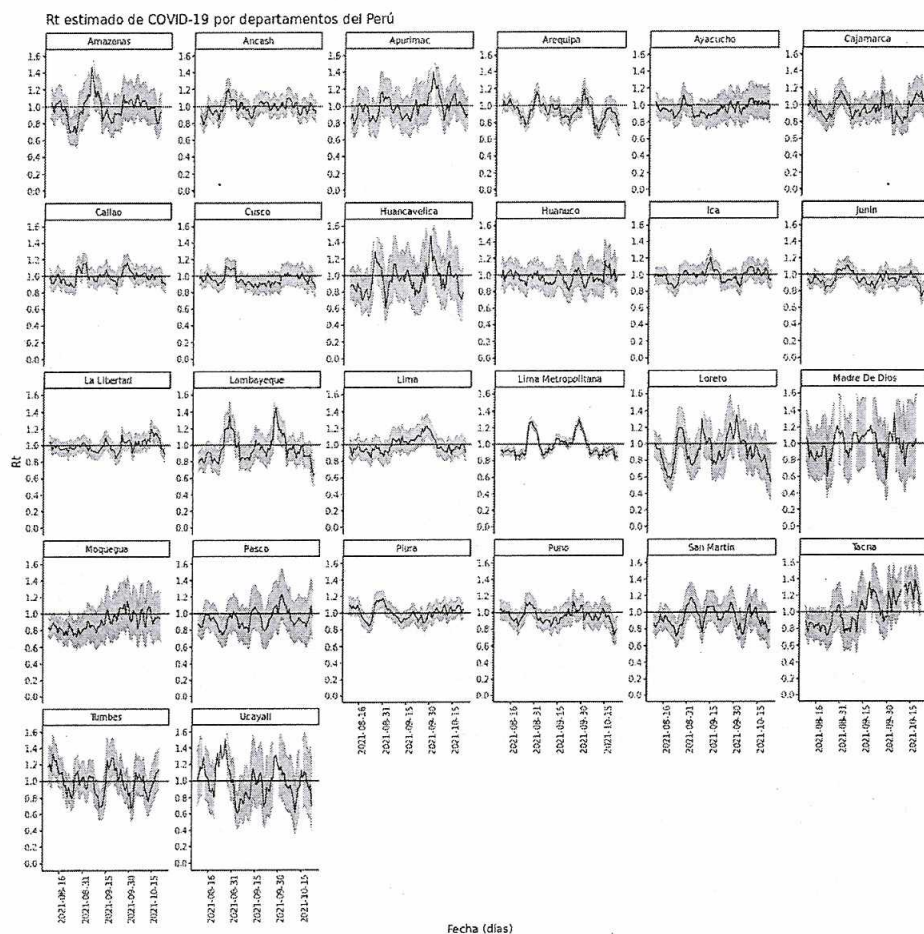
Centro Nacional de
Epidemiología, Prevención
y Control de Enfermedades

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Figura 02. Rt estimado de COVID-19, para el Perú y departamentos 2020 – 2021



Elaborado por: Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades-MINSA
* Hasta el 07 de noviembre del 2021



Elaborado por: Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades-MINSA
* Hasta el 07 de noviembre del 2021

**PERÚ****Ministerio
de Salud****Viceministerio
de Salud Pública****Centro Nacional de
Epidemiología, Prevención
y Control de Enfermedades**

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Pero como se comentó líneas atrás, el umbral de la inmunidad de rebaño es discutible, pero lo que es cierto es que al menos el 50% de la población debe generar inmunidad duradera o parcial (5) ya sea por infección natural o por vacunación para que la epidemia se interrumpa. Si la población infectada desarrolla inmunidad duradera entonces la epidemia se podría erradicar o eliminar, pero si no es así, esta pandemia tendrá un comportamiento estacional o bianual dependiendo de cuanto duren los anticuerpos neutralizantes o la inmunidad celular protectora.

En este contexto, si ocurriera una tercera ola, con la información actual no podemos estar seguros de cuantos casos de COVID-19 se presentarán exactamente. Pero, podemos estimar escenarios en función a cuanto nos falta para llegar al umbral de la inmunidad de rebaño (50% o más en cada región) en base al número reproductivo básico (R_0) o al R_t estimado para cada región, la prevalencia de SARS-Cov-2 estimada por los estudios de prevalencia en algunas regiones o la positividad acumulada como un proxy de esta prevalencia y la cantidad de vacunados con segunda dosis. A partir del porcentaje de la población que falta para llegar al umbral de la inmunidad de rebaño podríamos estimar los casos, los hospitalizados, los pacientes en UCI y los fallecidos. Obviamente bajo el supuesto de que la inmunidad de las personas que se han infectado en la primera y segunda ola se mantiene al menos hasta el otro año. Las estimaciones se realizarán en función a los datos disponibles de cada región con que cuenta este Centro Nacional a través de la vigilancia epidemiológica hasta la fecha. Es importante tener en cuenta que esta información tiene cierto grado de incertidumbre porque estos datos no son exactos, pero suficientes para aproximarnos a lo que podría suceder.

III. METODOLOGÍA

Se han realizado los cálculos de probables escenarios que se espera para una posible tercera ola de la COVID-19, a continuación, se detalla la metodología:

- Seroprevalencia estimada (calculada entre el primer y segundo estudio de seroprevalencia realizada por las regiones, en su defecto se multiplicó por 2 porque en el tercer estudio realizado en Lima se ha observado una duplicación de la seroprevalencia)
- Infectados (la multiplicación entre prevalencia estimada y la población)
- Susceptibles (población menos infectados)
- Vacunados protegidos (dato proporcionado por inmunizaciones)
- Susceptibles finales (susceptibles menos vacunados protegidos)
- Reinfecciones, considerar el 1% de los infectados en un escenario conservador y 5% en el peor de los escenarios.
- Casos (susceptibles finales multiplicado por la tasa de ataque)
- Casos totales (suma de las reinfecciones y casos)
- Casos sintomáticos 80% (casos totales se multiplica por la constante 0,8%)
- Hospitalizados (se calculará el 20 %; casos sintomáticos multiplicado por 0,2)
- Hospitalizados en UCI (se calculará el 5%; casos hospitalizados multiplicado por 0,05)
- Fallecidos (se considera los casos sintomáticos multiplicado con el resultado de los parámetros (casos, hospitalizados, proporción de hospitalizados, hospitalizados UCI, proporción de hospitalizados en UCI y la letalidad) obtenidos de la vigilancia epidemiológica.

Se anexan los resultados por regiones según cada escenario.



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Tabla 1: Escenario más conservador

Departamento	Población	Prevalencia estimada	infectados	Susceptibles	Vacunados protegidos	Susceptibles finales	*Reinfecciones (1%)	Casos	Casos totales	Casos sintomáticos (80% del total de casos)	Hospitalizados (20%)	hospitalización en UCI (%)	Fallecidos
Amazonas	426806	0,33	140 846	285 960	164 142	121 818	1 408	30 455	31 863	25 490	5 098	255	248
Ancash	1180638	0,46	537 190	643 448	640 639	2 809	5 372	702	6 074	4 859	972	49	106
Arequipa	430738	0,35	150 758	279 978	199 868	80 110	1 508	20 028	21 535	17 228	3 446	172	246
Ayacucho	1497438	0,50	741 232	756 206	753 373	2 833	7 412	708	8 121	6 496	1 299	65	138
Avacucho	668213	0,40	267 285	400 928	240 960	159 968	2 673	39 992	42 665	34 132	6 826	341	542
Cajamarca	1453711	0,50	726 856	726 856	609 278	117 578	7 269	29 394	36 663	29 330	5 866	293	457
Callao	1129854	0,37	421 436	708 418	707 612	806	4 214	202	4 416	3 533	707	35	88
Cusco	1357075	0,40	542 830	814 245	576 913	237 332	5 428	59 333	64 761	51 809	10 362	518	842
Huanavelica	365317	0,35	127 861	237 456	147 912	89 544	1 279	22 386	23 665	18 932	3 786	189	340
Huánuco	760267	0,38	288 901	471 366	263 791	207 575	2 889	51 894	54 783	43 826	8 765	438	832
Ica	975182	0,46	448 584	526 598	510 125	16 473	4 486	4 118	8 604	6 883	1 377	69	247
Junín	1361467	0,43	585 431	776 036	652 606	123 430	5 854	30 858	36 712	29 369	5 874	294	612
La Libertad	2016771	0,49	988 218	1 028 553	922 410	106 143	9 882	26 536	36 418	29 134	5 827	291	850
Lambayeque	1310785	0,55	714 483	596 302	594 390	1 912	7 145	478	7 623	6 098	1 220	61	217
Lima Metropolitana	9 612 705	0,43	4 152 689	5 460 016	5 426 263	33 753	41 527	8 438	49 965	39 972	7 994	400	1 736
Lima provincias	1 015 765	0,34	340 281	675 484	536 947	138 537	3 403	34 634	38 037	30 430	6 086	304	1 157
Loreto	1027559	0,72	743 953	283 606	272 105	11 501	7 440	2 875	10 315	8 252	1 650	83	192
Madre de Dios	173811	0,72	124 275	49 536	49 122	414	1 243	104	1 346	1 077	215	11	15
Moquegua	192740	0,44	84 613	108 127	107 195	932	846	233	1 079	863	173	9	11
Pasco	271904	0,32	85 650	186 254	127 931	58 323	856	14 581	15 437	12 350	2 470	123	205
Piura	2047954	0,54	1 095 655	952 299	818 234	134 065	10 957	33 516	44 473	35 578	7 116	356	1 227
Puno	1237997	0,57	699 468	538 529	342 454	196 075	6 995	49 019	56 013	44 811	8 962	448	1 160
San Martín	899648	0,58	522 695	376 953	368 879	8 074	5 227	2 018	7 245	5 796	1 159	58	88
Tacna	370974	0,39	142 825	228 149	207 978	20 171	1 428	5 043	6 471	5 177	1 035	52	85
Tumbes	251521	0,47	118 215	133 306	127 793	5 513	1 182	1 378	2 560	2 048	410	20	44
Ucayali	589110	0,68	397 649	191 461	186 214	5 247	3 976	1 312	5 288	4 231	846	42	101
TOTAL	32625948		15 189 878	17 436 070	15 555 134	1 880 936	151 899	470 234	622 133	497 706	99 541	4 977	11 786

* Vitale J, Mumoli N, Clerici P, De Paschale M, Evangelista I, Cei M, et al. Assessment of SARS-CoV-2 Reinfection 1 Year After Primary Infection in a Population in Lombardy, Italy. JAMA Intern Med. 2021.

* Qureshi AI, Baskett WI, Huang W, Lobanova I, Hasan Naqvi S, Shyu C-R. Reinfection With Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in Patients Undergoing Serial Laboratory Testing. Clinical Infectious Diseases. 2021.

* Reporte CDC: INFORME N° 06- 2021- UIIEIS-CDC: Informe probable reinfección por COVID-19 en el Perú





PERÚ

Ministerio
de Salud

Viceministerio
de Salud Pública

Centro Nacional de
Epidemiología, Prevención
y Control de Enfermedades

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Tabla 2: Peor escenario

Departamento	Población	Prevalencia estimada	Infectados	Susceptibles	Vacunados protegidos	Susceptibles finales	*Reinfecciones (%)	Casos	Casos totales	Casos sintomáticos (80% del total de casos)	Hospitalizados (20%)	hospitalización en UCI (5%)	Fallecidos
Amazonas	426806	0,33	140 846	298 764	164 142	134 622	7 042	47 118	54 160	43 328	8 666	433	422
Ancash	1180638	0,455	537 190	672 964	640 639	32 325	26 860	11 314	38 173	30 539	6 108	305	665
Apurímac	430736	0,35	150 758	335 974	199 868	136 106	7 538	47 637	55 175	44 140	8 828	441	631
Arequipa	1497438	0,495	741 232	778 668	753 373	25 295	37 062	8 853	45 915	36 732	7 346	367	780
Áyacucho	668213	0,4	267 285	414 292	240 960	173 332	13 364	60 666	74 030	59 224	11 845	592	940
Callao	1453711	0,5	726 856	755 930	609 278	146 652	36 343	51 328	87 671	70 137	14 027	701	1 094
Cajamarca	1129854	0,373	421 436	711 808	707 612	4 196	21 072	1 469	22 540	18 032	3 606	180	449
Cusco	1357075	0,4	542 830	854 957	576 913	278 044	27 142	97 315	124 457	99 566	19 913	996	1 619
Huancavelica	365317	0,35	127 861	248 416	147 912	100 504	6 393	35 176	41 569	33 255	6 651	333	597
Huánuco	760267	0,38	288 901	486 571	263 791	222 780	14 445	77 973	92 418	73 934	14 787	739	1 404
Ica	975182	0,46	448 584	511 971	510 125	1 846	22 429	646	23 075	18 460	3 692	185	663
Junín	1361467	0,43	585 431	803 266	652 606	150 660	29 272	52 731	82 002	65 602	13 120	656	1 367
La Libertad	2016771	0,49	988 218	1 048 721	922 410	126 311	49 411	44 209	93 620	74 896	14 979	749	2 186
Lambayeque	1310785	0,54508	714 483	596 407	594 390	2 017	35 724	706	36 430	29 144	5 829	291	1 036
Lima Metropolitana	9 612 705	0,432	4 152 689	5 469 629	5 426 263	43 366	207 634	15 178	222 813	178 250	35 650	1 783	7 740
Lima provincias	1 015 765	0,335	340 281	690 720	536 947	153 773	17 014	53 821	70 835	56 668	11 334	567	1 836
Loreto	1027559	0,724	743 953	297 992	272 105	25 887	37 198	9 060	46 258	37 006	7 401	370	859
Madre de Dios	173811	0,715	124 275	49 536	49 122	414	6 214	145	6 359	5 087	1 017	51	69
Moquegua	192740	0,439	84 613	108 513	107 195	1 318	4 231	461	4 692	3 753	751	38	48
Pasco	271904	0,315	85 650	190 333	127 931	62 402	4 282	21 841	26 123	20 898	4 180	209	347
Piura	2047954	0,535	1 095 655	1 003 497	818 234	185 263	54 783	64 842	119 625	95 700	19 140	957	3 300
Puno	1237997	0,565	699 468	557 099	342 454	214 645	34 973	75 126	110 099	88 079	17 616	881	2 281
San Martín	899648	0,581	522 695	369 306	368 879	427	26 135	149	26 284	21 027	4 205	210	320
Tacna	370974	0,385	142 825	233 714	207 978	25 736	7 141	9 007	16 149	12 919	2 584	129	212
Tumbes	251521	0,47	118 215	135 821	127 793	8 028	5 911	2 810	8 721	6 977	1 395	70	150
Ucayali	589110	0,675	397 649	186 247	186 214	33	19 882	12	19 894	15 915	3 183	159	379
TOTAL	32625948		15 189 878	16 171 555	15 555 134	2 255 980	759 494	789 593	1 549 087	1 239 270	247 854	12 393	31 395

* Vitale J, Mumoli N, Clerici P, De Paschale M, Evangelista I, Cei M, et al. Assessment of SARS-CoV-2 Reinfection 1 Year After Primary Infection in a Population in Lombardy, Italy. JAMA Intern Med. 2021.

* Qureshi AI, Baskett W, Huang W, Lobanova I, Hasan Naqvi S, Shyu C-R. Reinfection With Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in Patients Undergoing Serial Laboratory Testing. Clinical Infectious Diseases. 2021.

* Reporte CDC: INFORME N° 06- 2021- UITEIS-CDC: Informe probable reinfección por COVID-19 en el Perú

**PERÚ****Ministerio
de Salud****Viceministerio
de Salud Pública****Centro Nacional de
Epidemiología, Prevención
y Control de Enfermedades**

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Tabla 3. Resumen de los escenarios de una probable tercera ola

Escenarios	Casos totales	Casos sintomáticos (80% del total de casos)	Hospitalizados (20%)	Hospitalización en UCI (5%)	Fallecidos
Escenario probable	622,133	497,706	99,541	4,977	11,786
Peor escenario	1,549,087	1,239,270	247,854	12,393	31,395

Fuente: Elaborado por Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades-MINSA

IV. CONCLUSIONES

- Las aproximaciones generadas se realizaron en dos escenarios con base al conocimiento actual y a los datos disponibles de la pandemia en el país.
- De acuerdo con los escenarios, el modelo predice que habría al final de la tercera ola aproximadamente 622 133 casos de COVID-19 en un escenario conservador, con un peor escenario de 1 549 087 casos de COVID-19. Además, podría extenderse en un periodo de nueve meses.
- La probabilidad de presentarse una tercera ola en los próximos meses no se puede afirmar, desconocemos la magnitud de esta, debido a la alta incertidumbre que existe sobre el comportamiento de esta pandemia.
- El impacto de las intervenciones tiene relación con el grado del cumplimiento de las medidas preventivas y del confinamiento.
- Estos escenarios no son predicciones de lo que va a ocurrir sino aproximaciones de lo que podría suceder, así que estos resultados se deben tomar con cautela. El CDC Perú no se responsabiliza por el uso incorrecto que se hagan de estos escenarios.

V. REFERENCIAS

1. European Centre for Disease Prevention and Control. Novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: increased transmission in the EU/EEA and the UK – sixth update – 12 March 2020. Stockholm: ECDC; 2020.
2. Eurosurveillance Editorial T. Note from the editors: novel coronavirus (2019-nCoV). Euro Surveill. 2020;25(3).
3. Callaway E. The coronavirus is mutating - does it matter? Nature. 2020;585(7824):174-7.
4. Randolph HE, Barreiro LB. Herd Immunity: Understanding COVID-19. Immunity. 2020;52(5):737-41.
5. Fontanet A, Cauchemez S. COVID-19 herd immunity: where are we? Nature Reviews Immunology. 2020;20(10):583-4.
6. Cialdini RB, Goldstein NJ. Social influence: compliance and conformity. Annu Rev Psychol. 2004;55:591-621.
7. Wood W. Attitude change: persuasion and social influence. Annu Rev Psychol. 2000;51:539-70.



PERÚ

Ministerio
de Salud

Viceministerio
de Salud Pública

Centro Nacional de
Epidemiología, Prevención
y Control de Enfermedades

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

8. Clemente-Suárez VJ, Hormeño-Holgado A, Jiménez M, Benítez-Agudelo JC, Navarro-Jiménez E, Perez-Palencia N, et al. Dynamics of Population Immunity Due to the Herd Effect in the COVID-19 Pandemic. *Vaccines* (Basel). 2020;8(2).
9. Fine P, Eames K, Heymann DL. "Herd immunity": a rough guide. *Clin Infect Dis*. 2011;52(7):911-6.
10. Chen WH, Strych U, Hotez PJ, Bottazzi ME. The SARS-CoV-2 Vaccine Pipeline: an Overview. *Curr Trop Med Rep*. 2020:1-4.
11. Scudellari M. How the pandemic might play out in 2021 and beyond. *Nature*. 2020;584(7819):22-5.
12. Kellam P, Barclay W. The dynamics of humoral immune responses following SARS-CoV-2 infection and the potential for reinfection. *Journal of General Virology*. 2020;101(8):791-7.
13. Seow J, Graham C, Merrick B, Acors S, Steel KJA, Hemmings O, et al. Longitudinal evaluation and decline of antibody responses in SARS-CoV-2 infection. *medRxiv*. 2020:2020.07.09.20148429.
14. Long QX, Tang XJ, Shi QL, Li Q, Deng HJ, Yuan J, et al. Clinical and immunological assessment of asymptomatic SARS-CoV-2 infections. *Nat Med*. 2020;26(8):1200-4.
15. Ledford H. What the immune response to the coronavirus says about the prospects for a vaccine. *Nature*. 2020;585(7823):20-1.
16. Rodda LB, Netland J, Shehata L, Pruner KB, Morawski PM, Thouvenel C, et al. Functional SARS-CoV-2-specific immune memory persists after mild COVID-19. *medRxiv*. 2020:2020.08.11.20171843.
17. Frederiksen LSF, Zhang Y, Foged C, Thakur A. The Long Road Toward COVID-19 Herd Immunity: Vaccine Platform Technologies and Mass Immunization Strategies. *Frontiers in Immunology*. 2020;11(1817).
18. Balkhi F, Nasir A, Zehra A, Riaz R. Psychological and Behavioral Response to the Coronavirus (COVID-19) Pandemic. *Cureus*. 2020;12(5):e7923-e.
19. Barber SJ, Kim H. COVID-19 Worries and Behavior Changes in Older and Younger Men and Women. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. 2020:gbaa068.
20. Acuña-Zegarra MA, Santana-Cibrian M, Velasco-Hernandez JX. Modeling behavioral change and COVID-19 containment in Mexico: A trade-off between lockdown and compliance. *Mathematical biosciences*. 2020;325:108370-.
21. Bavel JJV, Baicker K, Boggio PS, Capraro V, Cichocka A, Cikara M, et al. Using social and behavioural science to support COVID-19 pandemic response. *Nature Human Behaviour*. 2020;4(5):460-71.
22. Aromatario O, Van Hove A, Vuillemin A, Foucaut AM, Pommier J, Cambon L. Using theory of change to develop an intervention theory for designing and evaluating behavior change SDApps for healthy eating and physical exercise: the OCAPREV theory. *BMC Public Health*. 2019;19(1):1435.

